

Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России
Московский метрополитен
Московский метрострой
Мосинжстрой
Трансинжстрой

Редакционный совет

Председатель совета

А. Н. Левченко

Заместитель председателя

И. С. Беседин

Члены совета:

В. П. Абрамчук, В. Н. Александров,
В. А. Гарюгин, В. В. Гридасов,
С. Г. Елгаев, А. М. Земельман,
Б. А. Картозия, В. Г. Лернер,
М. М. Рахимов, Г. И. Рязанцев,
Г. Я. Штерн

Редакционная коллегия:

С. А. Алпатов, Н. С. Булычев,
О. В. Егоров, А. А. Гончаров,
А. И. Долгов, А. В. Ершов,
М. Г. Зерцалов, Н. И. Кулагин,
Е. Н. Курбацкий, Г. Н. Матюхин,
В. Е. Меркин, А. Ю. Педчик,
Г. Н. Полянкин, П. В. Пуголовок,
А. Ю. Старков, Б. И. Федунец,
Ш. К. Эфендиев

Главный редактор

Г. М. Сеницкий

Тоннельная ассоциация России

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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел.: (499) 267-3514, 267-3425
факс: (499) 265-7951
107078, Москва,
Новорязанская, 16,
подъезд 5, оф. 20
e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Редактор

Г. М. Сандул

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2011

Выставки и конференции

V Юбилейная Международная выставка «CITY BUILD.
Строительство городов – 2011»

2

ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» – 65 лет

Слово руководителю

В. А. Маслак

7

О некоторых проблемных и текущих вопросах технологии проектных работ

А. И. Салан, Л. А. Меерович

8

Красносельско-Калининская линия и продолжение Фрунзенского радиуса метрополитена в Санкт-Петербурге

В. С. Долгов, Г. В. Линкишкин

10

Новые разработки института за последние пять лет

К. П. Безродный

12

Основатель школы отечественного тоннелестроения

Д. М. Голицынский

14

Научное сотрудничество Ленметрогипротранса с Санкт-Петербургским государственным горным университетом

А. Г. Протосеня

15

Формирование и применение новой теории и аналитических методов расчета крепи горных выработок

Н. С. Булычев, Н. Н. Фотиева, К. П. Безродный

18

Научно-практическая деятельность в современных условиях

Ю. С. Фролов

20

Научное сопровождение проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации транспортных тоннелей

Ю. С. Исаев

24

Натурные исследования напряжённо-деформированного состояния системы «обделка – массив» в составе горно-экологического мониторинга

К. П. Безродный, М. О. Лебедев

28

Регистрация естественного электромагнитного излучения в строящихся тоннелях

А. Д. Басов, К. В. Романевич

31

От наблюдения к управлению воздействием на окружающую среду при сооружении транспортных тоннелей

С. Г. Гендлер, Е. И. Домпальм

33

Специальные способы работ – надежный инструмент при проектировании и строительстве сооружений в сложных инженерно-геологических условиях

А. Г. Мацегора

37

Мониторинг подземного пространства методом электро- магнитного импульсного сверхширокополосного зондирования

В. Б. Болтинцев, В. Н. Ильяхин

40

Исследование влияния горно-геологических факторов на величину оседания земной поверхности при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена

В. П. Хуцкий

42

Строительство транспортных тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях

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

44

Проекты конструкторского отдела

Г. Р. Захаров

48

Архитектура станций Санкт-Петербургского метрополитена

Д. А. Бойцов

50

Комплексная система обеспечения безопасности Петербургского метрополитена

И. В. Культин, Е. В. Симаков

54

Использование компьютерных технологий в Ленметрогипротрансе. История и современность

А. А. Лянда

56

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Проектное решение
центрального зала
станции «Боровая»
Санкт-Петербургского
метрополитена

V ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «CITY BUILD. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДОВ – 2011»

17-20 октября 2011 г. в Москве во Всероссийском выставочном центре (ВВЦ) прошла V Международная выставка архитектуры, строительства, реконструкции городов, строительных технологий и материалов «City Build. Строительство городов. Подземный город».

Организаторы выставки – Международная выставочная компания ITE. Официальная поддержка – правительство Москвы и Министерство регионального развития РФ. Тоннельная ассоциация России выступила как со-организатор.



Выступление С. И. Левкина на открытии выставки

В официальной церемонии открытия City Build приняли участие – руководитель Департамента градостроительной политики города Москвы С. И. Левкин, руководитель Департамента строительства города Москвы А. Ю. Бочкарев, президент Российского союза строителей В. А. Яковлев.

Обращаясь к участникам и гостям выставки, генеральный директор компании ITE Александр Штиленков подчеркнул, что City Build – единственная в России Международная выставка, отражающая тенденции градостроительной отрасли, способствующая установлению конструктивного диалога между представителями органов государственной власти и промышленных объединений.

В приветствиях руководителей департаментов правительства Москвы и Российского союза строителей было подчеркнуто, что перед стройкомплексом Москвы стоят особые задачи. Сформирована новая градостроительная политика нашего города, ориентированная на повседневные нужды жителей и гостей столицы, на создание условий для комфортной жизни, работы и отдыха. В этом году планируется увеличение площади столицы более чем в два раза, соответственно вырастет объем задач градостроительно-

го комплекса, и это потребует не только мобилизации усилий всех участников строительного процесса, но и разработки инновационных подходов к управлению и производству.

В выступлениях было заявлено, что Международная выставка станет не только демонстрацией новых достижений в градостроительстве, но и поможет в период конструктивного профессионального общения найти пути для дальнейшего развития отрасли.

В выставке приняли участие 102 компании из России, США, Италии, Германии.

Широко были представлены регионы, в числе которых Санкт-Петербург, Пермь, Сочи, Минск, Красноярск, Новосибирск, Алматы. Среди экспонентов выставки – ведущие международные и отечественные компании: Herrenknecht, Casagrande, BASF, Robbins, Зика, НПО «Космос», Группа компаний «Мост», ОАО «Мосинжпроект», ОАО «Ленметрогипротранс», ОАО «Метрострой» СПб, Ассоциация «Крилак» и др.

City Build объединила на одной площадке шесть самостоятельных и, вместе с тем, взаимодополняющих выставок: строительство и инфраструктура дорог, подземный город, высотное строительство, свет в городе, архитектура, проектирование, ре-

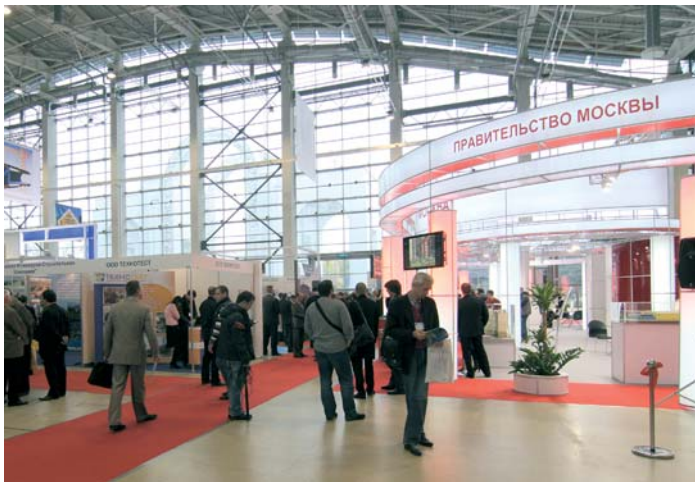
конструкция, городские инженерные сети и коммуникации.

Участники выставки «Подземный город» продемонстрировали оборудование для строительства тоннелей, обеспечения безопасности, бестраншейные технологии, новейшие инновационные решения, применяемые при сооружении тоннелей и подземных объектов, современные материалы, научно-исследовательские разработки в области метротоннелестроения и многое другое.

В числе экспонентов были представлены: НПО «Космос», ОАО «Мосинжпроект», ОАО «Ленметрогипротранс», ГПР-1, Каналстройпроект и ряд известных зарубежных фирм.

В экспозиции Тоннельной ассоциации России основное внимание было уделено развитию инновационных технологий при прокладке тоннелей и освоении подземного пространства, подземным автостоянкам, сооруженным в Москве, и инновационным перспективным видам транспорта.

В рамках выставки Тоннельная ассоциация России при участии Международной тоннельной ассоциации организовала и провела Международную научно-техническую конференцию «Основные направления развития инновационных технологий при



строительстве тоннелей и подземных сооружений крупных мегаполисов», целью которой явилось рассмотрение различных вопросов в области разработки и внедрения новейших технологий при возведении подземных сооружений в крупных городах.

Ведущие конференции: генеральный директор ЦНИИП градостроительства РААСН В. П. Коротаев, генеральный директор «НИИЦ ТА» В. Е. Меркин и руководитель исполнительной дирекции ТА России Г. М. Синицкий.

В процессе работы конференции рассматривались следующие вопросы:

- законодательное регулирование градостроительного освоения подземного пространства Москвы;
- международный опыт освоения подземного пространства;
- освоение подземного пространства Москвы на современном этапе;
- подземные автостоянки для центра Москвы;
- современные тенденции развития тоннелестроения в Европе;
- особенности проектирования тоннелей в Сочи;
- фибробетон в тоннельном строительстве;
- прогресс строительства тоннелей совмещенной дороги Адлер – курорт «Альпика-Сервис»;
- современные смазочно-уплотнительные материалы и кондиционеры грунтов для тоннелепроходческих работ;
- огнезащитно-декоративные системы облицовки автотранспортных тоннелей;
- особенность строительства подземных сооружений в Москве;
- строительство станций глубокого заложения с монолитной железобетонной отделкой Новоавстрийским методом;
- современные технологии и оборудование для автоматизированного обследования подземных сооружений.

На конференции были заслушаны 33 доклада российских и зарубежных специалистов. Среди выступавших – представители департаментов правительства Москвы, Москомархитектуры, строительных организаций, проектных и научно-исследовательских институтов из различных регионов России. Конференция вызвала большой интерес сре-



ди специалистов, в ней приняли участие более 200 человек из 32 организаций. Был издан сборник трудов конференции.

В рамках выставки Тоннельная ассоциация России провела конкурс «На лучшее применение передовых технологий при освоении подземного пространства», задачей которого явилась демонстрация новых технологий, оборудования и материалов, применяемых в подземном строительстве.

Компаниям, ставшим в этом году победителями, председатель правления Тоннельной ассоциации России А. Н. Левченко вручил Почетные знаки и дипломы:

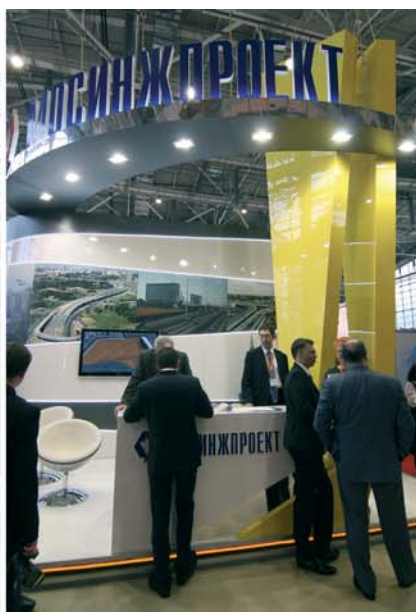
в номинации «Технологии при проходке тоннелей и подземных выработок закрытым способом»:

- ОАО «Бамтоннельстрой» за скоростную проходку комбинированным горным способом при строительстве тоннеля № 1 совмещенной дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», за проходку ТПК Seli – Lovat RM 394 DS зон тектонических разломов с предварительным креплением горного массива из параллельной выработки при строительстве тоннеля № 3 совмещенной дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис»;
- УС «ЮГСК», Сибирскому государственному университету путей сообщения за скоро-



стную проходку горным способом тоннелей на Юге России с использованием инновационных технологий;

- ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», ОАО «Метрострой», ЗАО Геострой», ЗАО «СМУ-11 Метростроя», ЗАО «Геодизонд», Филиалу «ОАО ЦНИИС «НИЦ ТМ» за комплексный геотехнический мониторинг сопровож-



дения проходки эскалаторных тоннелей в четвертичных водонасыщенных грунтах с помощью ТПМК;

- ОАО «Минскметропроект» за технологические особенности сооружения автодорожного тоннеля под действующей ж. д. Виноградная – Георгиевск;

- КГП «Метрополитен» за возведение станций глубокого заложения с монолитной железобетонной отделкой Новоавстрийским методом;

- ОАО «Метрострой» СПб за строительство крупногабаритного подводного автодорожного тоннеля в комплексе защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений;

в номинации «Технологии при проходке тоннелей и подземных выработок открытым способом»:

- ОАО Минскметропроект» за разработку унифицированных креплений стартовых и приемных котлованов круглого очертания при строительстве коллекторов;

- в номинации «Материалы и конструкции для тоннелей и подземных сооружений»:

- МУП «Казметрострой» за создание и выпуск высокопрочной водонепроницаемой отделки тоннелей для метрополитена;

- ЗАО «Кварт» за разработку технологии производства уплотнительных резинок прокладок для блоков кольцевой отделки тоннелей метрополитена;

в номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений»:

- ООО «НПКЦ «Интерсигнал» за разработку инновационной технологии проектирования интегрированной противопожарной защиты автотранспортных тоннелей, притоннельных сооружений в г. Жуковском Московской области в рамках правительственной программы «МАКС»;

- НПО «Ассоциация Крилак» за разработку огнезащитного состава для противопожарной защиты подземных сооружений;

- Филиалу ОАО ЦНИИС «НИЦ ТМ», Московскому государственному университету природообустройства за организацию экологического мониторинга в составе горного сопровождения строительства тоннелей и подземных сооружений;

в номинации «Гидроизоляционные материалы и устройства для отвода воды»:

- ФГУП «Управление-30» за применение материалов и технологических решений компании BASF-MEYCO по гидроизоляционной защите постоянной отделки и устройству отвода грунтовых вод на строительстве Юкспорского тоннеля № 2.

За четыре дня работы выставку посетили представители госструктур и строительного бизнеса не только Москвы и Московской области, но и более чем десяти регионов РФ, а также стран СНГ.

Организаторы выразили благодарность за поддержку и проведение выставки Тоннельной ассоциации России, Российскому союзу строителей, соорганизаторам и партнерам компании ITE.



ПРЕДСЕДАТЕЛЮ АО «АЗЕРТОННЕЛЬМЕТРОСТРОЙ» ШАИКУ КЕРИМОВИЧУ ЭФЕНДИЕВУ ИСПОЛНИЛОСЬ 75 ЛЕТ



Ш. К. Эфендиев родился 21 октября 1936 г. После окончания Азербайджанского государственного университета по специальности «горный инженер» в 1960 г. он был направлен в Управление «Бактоннельстрой» Минтрансстроя СССР.

Работая начальником смены, а затем начальником участка на сооружении перегонных тоннелей в сложных гидрогеологических условиях – в кессоне, а также станционных тоннелей глубокого заложения, проявил себя талантливым инженером и умелым организатором.

Благодаря таким качествам как умение работать с людьми, яркие способности руководителя, требовательность и высокое чувство ответственности в 1966 г. он выдвигается на должность начальника производственно-технического отдела, в 1971 – главного инженера Тоннельного отряда № 7 Бактоннельстроя, а в 1972 – начальником этого отряда.

Коллектив ТО-7, возглавляемый Шаиком Керимовичем, осуществлял сооружение тоннелей разного назначения: железнодорожных тоннельных обходов линии Алят-Норашен Азербайджанской железной дороги общей протяженностью около 3 км, винохранилище тоннельного типа длиной 1000 п. м в г. Шемахе, эскалаторные, перегонные и станционные тоннели Бакинского метрополитена, 4-километровый тоннель системы орошения в Нахичевани. Талант руководителя и грамотного инженера раскрылся при возведении уникального объекта, имеющего большое народно-хозяйственное и научное значение – подземной обсерватории Института ядерных исследований Академии наук СССР в Кабардино-Балкарии.

В 1980 г. Ш. К. Эфендиев в качестве руководителя группы советских специалистов был командирован в Республику Куба сроком на три года, где организаторские спо-

собности и высокая квалификация инженера тоннельного строительства получили заслуженный отзыв кубинской стороны.

По возвращении из заграничной командировки в 1984 г. Шаик Керимович вновь приступает к выполнению обязанностей начальника Тоннельного отряда № 7, а в апреле 1987 г. выдвигается на должность начальника Управления строительства «Бактоннельстрой». В дальнейшем, в связи со структурными изменениями, в апреле 1999 г. распоряжением Президента Азербайджанской Республики назначен на должность председателя АО «Азертоннельметрострой», где и продолжает трудиться по сей день. Под его руководством и непосредственным участием было построено множество станций Бакинского метрополитена, ирригационные тоннели и объекты народно-хозяйственного значения.

Ш. К. Эфендиев является заместителем председателя правления ТАР, председателем Объединения тоннельщиков Азербайджана, которое в этом году вступило в состав Международной тоннельной ассоциации.

Трудовые заслуги Ш. К. Эфендиева высоко отмечены государством. Он награжден медалями «За трудовую доблесть», «За доблестный труд», орденом Славы, ему присвоены звания «Почетный транспортный строитель СССР» и «Заслуженный инженер Азербайджанской Республики».

Тоннельная ассоциация России и редакция журнала «Метро и тоннели» сердечно поздравляют Шаика Керимовича со знаменательной датой – 75-летием со дня рождения и желают ему крепкого здоровья, долгих лет жизни, счастья, благополучия и дальнейших успехов в трудовой и творческой деятельности!

65 лет

Ленметрогипротрансу



Дорогие коллеги!

От всей души поздравляю вас с 65-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.



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

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.

Несмотря на основной профиль работ – подземное транспортное строительство, институтом была запроектирована, в первую очередь, вся производственная база Метростроя: заводы, объекты автотранспортного хозяйства, управления механизации, базы производственно-технологической комплектации и др. Ведь ленинградский Метрострой создавался фактически с нуля, и для него была необходима собственная производственная база.

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

ные, железнодорожные, гидротехнические и коммуникационные.

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

За 65 лет институтом запроектировано более 800 км тоннелей различного назначения. Это метрополитен Санкт-Петербурга, участки первых линий метро Новосибирска, Челябинска, Казани, Самары и других городов нашей страны.

Обширна география проектируемых тоннелей различного назначения, в том числе тоннели Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, под проливом Невельского длиной 8,82 км для соединения Евразийского материка с островом Сахалин, под Беринговым проливом длиной 113 км на трансконтинентальной железнодорожной магистрали между Евразией и Северной Америкой, Архотский тоннель длиной 23,4 км через Главный Кавказский хребет.

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

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМНЫХ И ТЕКУЩИХ ВОПРОСАХ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ



А. И. Салан, заместитель генерального директора – гл. инженер ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс» в декабре 2011 г. отмечает свой 65-летний юбилей. В материалах, посвященных подобным датам, рассказывают, как правило, о пройденном пути, имеющихся достижениях и наградах, о лучших людях и светлых перспективах. Мы хотим, воспользовавшись случаем, остановиться на организации и технологии проектирования метрополитенов, ибо именно они в настоящее время вызывают ряд вопросов, требующих более четкого понимания.

О стадийности и сроках проектирования

Ранее для особо сложных объектов, к которым относятся и метрополитены, необходимо было выполнять три стадии проектирования: предпроектную – технико-экономическое обоснование строительства (позже – обоснование инвестиций в строительство), проект и рабочую документацию.

При разработке ТЭО и проектов метрополитенов руководствовались специальными эталонами, разработанными головным институтом – Метрогипротрансом и определяющими необходимый и достаточный состав текстовых, графических, расчетных и сметных материалов.

Инженерные изыскания выполнялись для каждой стадии проектирования в объемах, достаточных для принятия необходимых технических решений. Проекты технологии работ всегда разрабатывались с учетом конкретной генподрядной строительной организации, которая их рассматривала и согласовывала.

При определении сроков разработки ТЭО и проектов руководствовались действующими норматива-

ми. Зачастую эти сроки «нарушались», но только в сторону их сокращения.

ТЭО и проекты рассматривались Госстроем (а в СССР еще и Генпланом) и с его заключением поступали на экспертизу в Министерство путей сообщения – заказчика работ. В процессе экспертизы в рабочем порядке обсуждались замечания экспертов и, при необходимости, вносились изменения в документацию и уточнялась стоимость строительства. Как правило, большинство замечаний, не имевших принципиального характера, предписывалось в заключении экспертизы учесть на следующем этапе проектирования.

Наличие предпроектной стадии (ТЭО), прошедшей Госэкспертизу, позволяло подойти к непосредственному проектированию (проекту) с оптимальными техническими решениями по основным объектам метрополитена с конкретными технико-экономическими показателями. В период разработки ТЭО и его экспертизы заказчик имел возможность получать в городских инстанциях и службах недостающие исходные материалы, необходимые для выполнения проекта.

В настоящее время предусмотрено проектирование в две стадии: проектная документация и рабочая.

Объем проектной документации резко возрос (до 40 % общего объема проектирования), а состав ее разделов и требования к их содержанию строго регламентированы специальным Положением, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 87 от 16 февраля 2008 г. Эти требования являются общими для всех линейных сооружений (к которым относятся и метрополитены), но они не учитывали специфику проектирования и строительства метрополитенов. Этот пробел попытались ликвидировать путем внесения в Положение изменений по Постановлению Правительства РФ № 1006 от 7 декабря 2010 г. «О дополнительных мерах по развитию метрополитенов в РФ». Однако эти позитивные изменения не обозначили четких путей решения проблем ускорения разработки проектной документации и обеспечения опережающей рабочей документацией подготовительных и первоочередных строительных-монтажных работ. В связи с этим институт подготовил проект «Основных положений по организа-

ции разработки проектной документации на линию (участок линии) метрополитена в Санкт-Петербурге», которые позволят, по нашему мнению, решить вышеуказанные проблемы.

«Основные положения...» рассмотрены и согласованы ОАО «Петербургский метрострой» и направлены нами заказчику – в ГУП «Петербургский метрополитен». Если метрополитен и госзаказчик – Комитет по транспорту правительства Санкт-Петербурга их одобрит и утвердит в правительстве города, решив вопросы финансирования проектирования и выполнения подготовительных и первоочередных работ, появится реальная возможность сократить общий срок строительства за счет опережающего обеспечения его необходимой проектной продукцией.

Об организации и технологии проектирования

Отмена действующего до выхода Постановления Правительства РФ № 87 от 16 февраля 2008 г. эталона «Проекта» метрополитена определила необходимость разработки внутриинститутского документа, регламентирующего состав проектной документации линии (участка линии) в соответствии с упомянутым постановлением и внесенными в него на сегодня изменениями.

Такой документ готовит служба управления производством в тесном контакте с производственными отделами. Документ будет определять состав каждого раздела проектной документации (с деление раздела на конкретные части, а части – на книги), а также давать достаточно подробное содержание каждой части и книги (исходных материалов, пояснительных записок, графических, расчетных и сметных материалов). Срок завершения разработки зависит от продолжительности рассмотрения и утверждения заказчиками проекта «Основных положений по организации разработки проектной документации на линию (участок линии) метрополитена в Санкт-Петербурге».

Состав и последовательность процессов разработки рабочей документации для строительства метрополитена с учетом сложившейся в институте практики проектирования определяются технологическими картами (ТК). Они предназначены для унификации графиков разработки рабочей документации и являются обязательным исходным материалом при их составлении главными инженерами проектов. ТК согласованы всеми производственными отделами, в связи с чем все позиции графиков, выполняе-

мые в соответствии с ТК, не подлежат согласованию. Установлен перечень действующих в институте ТК. При разработке новых, их корректировке или отмене перечень ТК уточняется ежегодно, не позднее 30 ноября текущего года (для возможности их учета в графиках разработки рабочей документации на будущий год).

Каждая ТК содержит следующие данные:

- наименование и номер;
- линейную схему процесса разработки проектно-сметной документации, в которой указаны отдели-участники процесса, этапы их взаимодействия и продолжительность работ;
- пояснения к линейной схеме – краткое содержание этапов взаимодействия отделов;
- алгоритм взаимодействия производственных отделов (для облегчения составления графиков проектирования);
- примечания к ТК (при необходимости).

Заключительный этап работ по технологическим картам (между передачей работ в отдел выпуска проектов и отправкой заказчику) предусматривает регистрацию готовых материалов в архиве, их сканирование, размножение и комплектование.

Состав, продолжительность и последовательность процессов разработки рабочей документации, на которые отсутствуют ТК, устанавливаются в графиках проектирования главными инженерами проектов и согласовываются с производственными отделами (такие работы составляют, как правило, не более 6–7 % от общего объема).

Конечно, основными рабочими документами, определяющими подробный перечень и сроки разработки проектной продукции, являются внутриинститутские графики, составляемые на предстоящий период главными инженерами проектов на основании заключенных контрактов (договоров) и утверждаемые заместителем генерального директора по проектированию метрополитенов. Как правило, графики необходимы для проектной документации на весь период работ, а для рабочей документации на объем будущего года. При подготовке графиков главные инженеры проектов обязаны также руководствоваться действующими в институте ТК для рабочей документации и эталоном для проектной документации (об этих документах упомянуто подробнее выше).

Текущая деятельность производственных отделов и способствующих подразделений регламентируется внутриинститутскими нормативными до-

кументами (стандартами предприятия), которые подготавливаются и отслеживаются специальной группой стандартизации и нормоконтроля в соответствии с изменениями как базовых нормативных документов, так и появлением новых решений по организации и технологии проектирования, принимаемых в институте.

Одной из основных текущих задач, особенно при растущих в последние годы объемах проектирования и необходимости в условиях рыночных отношений сокращать сроки и повышать качество работ, становится оперативное управление процессом проектирования. Под управлением понимается контроль правильности принимаемых решений, соблюдение требований нормативных документов и внутренних стандартов предприятия, сроков выполнения графиков проектирования. Для решения данных задач в институте применяется система TDMS (Technical Data Management System), предназначенная для управления информационными потоками и электронной документацией проектных и конструкторских организаций, в работе которых используются технические данные и создаваемые на их основе все виды документов. Также разработана и внедряется конфигурация, позволяющая создавать графики проектирования и контролировать их выполнение, отслеживать передачу заданий между подразделениями института, а также в электронный архив проектной и рабочей документации.

Следует отметить, что с декабря 2004 г. институт работает в рамках требований Международного стандарта ISO 9001. Система менеджмента качества ОАО «Ленметрогипротранс» была сертифицирована в 2005 г. в системе ТЮФ-СЕРТ. По итогам проведенного сертификационного аудита выдан Сертификат соответствия № 75 100 70041 от 07.02.2005 г. сроком действия до 05.03.2014 г. В январе 2011 г. внешним органом по сертификации в РФ TUV International RUS в институте был проведен ресертификационный аудит системы менеджмента качества на соответствие требованиям Международного стандарта ISO 9001:2008.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что основной проблемой на сегодня является решение вопросов подготовки, разработки и экспертизы проектной продукции на стадии «проектная документация», которое позволило бы сократить сроки проектирования и строительства метрополитена в Санкт-Петербурге.



КРАСНОСЕЛЬСКО-КАЛИНИНСКАЯ ЛИНИЯ И ПРОДОЛЖЕНИЕ ФРУНЗЕНСКОГО РАДИУСА МЕТРОПОЛИТЕНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ



В. С. Долгов, главный инженер проектов ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Г. В. Линкишкин, зам. генерального директора по проектированию метрополитена

На сегодняшний день Петербургский метрополитен имеет пять линий общей протяженностью 120 км с 64 станциями. По уровню загруженности он занимает второе место в России и четвертое в Европе, уступая таким метрополитенам, как Московский (182 станции, 301,2 км), Парижский (301 станция, 215 км), Лондонский (270 станций, 408 км). В день Петербургский метрополитен перевозит 2,3 млн человек, Парижский – 4 млн, в то время как последний имеет почти в пять раз больше станций. Это свидетельствует о том, что Санкт-Петербург отстает в развитии сети метрополитена, хотя потребность в нем растет день ото дня.

Разработка проектной документации и строительство метро в Санкт-Петербурге выполняется на основе Отраслевой схемы развития метрополитена, утвержденной Постановлением правительства Санкт-Петербурга от 28.06.2011 г. № 836.

В настоящее время ОАО «Ленметрогипротранс» разрабатывает проектную документацию для строительства продолжения Фрунзенского радиуса за строящуюся ст. «Международная» до ст. «Южная» и Красносельско-Калининской линии, участок от ст. «Казаковская» до ст. «Обводный канал-2» с электродепо «Красносельское»

В городе есть районы так называемой «транспортной дискриминации» и в первую очередь к ним следует отнести Красносельский. При населении в 330 тыс. человек, он является одним из самых динамично развивающихся районов Санкт-Петербурга.

Улучшить транспортное обслуживание Красносельского района и призвана Красносельско-Калининская линия. Первый ее участок от ст. «Казаковская» до ст. «Обводный канал-2» с электродепо «Красносельское» включает в себя шесть станций, три из которых пересадочные, и имеет протяженность 10,3 км. Все станции глубокого заложения из-за плотной городской застройки и необходимости организации пересадок на суще-

ствующие станции глубокого заложения: «Обводный канал», «Московские ворота» и «Кировский завод».

Станция «Обводный канал-2» колонного типа с уширенным междупутем 19,2 м, является пересадочной на ст. «Обводный канал» 5-й линии (Фрунзенско-Приморской). Наземный вестибюль предусматривается на набережной Обводного канала возле автовокзала.

Пилонная станция «Боровая» с междупутем 25 м и вестибюль № 1 будут расположены на перекрестке улиц Черниговской, Киевской и Рыбинской. Здание представляет собой самостоятельный двухэтажный объем, центрированный относительно участка застройки. Объемно-пространственное решение вестибюля выполнено с учетом доминантно градостроительной роли застраиваемого участка и возможностью обзора здания с прилегающих улиц. Вестибюль № 2 будет расположен на Лиговском проспекте возле улицы Тосина.

Станция «Черниговская» также пилонного типа, но не из сборного, а из монолитного железобетона. Она является пересадочной



Станция «Обводный канал-2»

на ст. «Московские ворота» 2-й линии (Московско-Петроградской).

Вестибюль ст. «Черниговская» – подземный. Он будет расположен в зоне развития Новоизмайловского проспекта, Варшавской улицы и Лиговского проспекта под проектируемым перекрестком. Вестибюль предусматривает развитую систему подземных пешеходных переходов с выходом на все стороны перекрестка.

Станция «Броневая» – колонного типа с уширенным междупутем 19,2 м. Вестибюль № 1 – подземный. Будет расположен на Благодатной улице в зоне развития Новоизмайловского проспекта. Вестибюль предусматривает систему подземных переходов с вы-



Станция «Путиловская»



Станция «Броневая». Перспективный вид торца центрального зала

ходами на обе стороны продлеваемого проспекта.

Вестибюль № 2 – наземный. Будет расположен возле перекрестка Кубинской и Благодатной улиц возле железнодорожной станции Броневая. Объемно-пространственное решение связано с градостроительными особенностями участка застройки, предполагающими круговой обзор вестибюля, а также с акцентированием входной пассажирской зоны.

Станция «Путиловская» также колонного типа с уширенным междупутьем 19,2 м и является пересадочной на ст. «Кировский завод» 1-й линии (Кировско-Выборгской) с вестибюлем, ориентированным главным фасадом на улицу Васи Алексеева у перекрестка с улицей Маршала Говорова.

Станция «Казаковская» – пилонного типа с междупутьем 25 м. Пятиэтажное здание административно-бытового комплекса объединено с вестибюлем № 1, расположено у перекрестка проспекта Маршала Жукова с улицей Маршала Казакова. На противоположной стороне проспекта будет сооружен подземный вестибюль.

Красносельско-Калининская линия будет первой линией Петербургского метрополитена, в которой проблема доступности для маломобильных групп решается уже на стадии проектирования. Станции, имеющие в проекте по два вестибюля, будут оснащены на одном из наклонных ходов, так называемыми «наклонными подъемниками», работающими по принципу фуникулера, установленного вместо одной ленты эскалатора. При этом количество эскалаторов на станции остается в строгом соответствии с действующими нормами.

Таким образом, после введения в эксплуатацию первого участка Красносельско-Калининской линии метрополитена можно будет совершать пересадки на линии 1, 2 и 5 на новых станциях, что позволит разгрузить от транзитных пассажиров целый ряд уже сейчас перегруженных пересадочных станций, расположенных в центре города.

Участок продолжения Фрунзенского радиуса линии метрополитена проходит вдоль одной из центральных магистралей района Купчино – улицы Бухарестской и включает в себя станции «Проспект Славы», «Дунайский

проспект» и «Южная». Строительная длина участка линии составляет 5,2 км.

Трасса линии метрополитена в плане, практически по всей длине, за исключением ст. «Проспект Славы», располагается западнее от оси улицы Бухарестской по малозастроенной территории, что позволяет избежать больших объемов перекладок инженерных коммуникаций, минимизирует вмешательство строительства в сложившуюся инфраструктуру района Купчино в части движения городского транспорта и прочих временных неудобств для жителей города, сопровождающих подобного рода стройки.

Станция «Южная», расположенная в непосредственной близости к одноименному электродепо, запроектирована в наземном исполнении.

В соответствии с требованиями СНиП и задания на проектирование на всех станциях предусмотрено по два вестибюля.

Перегонные тоннели участка глубокого заложения от ст. «Проспект Славы» на юг идут на подъем и до начала четвертичных отложений запроектированы в обделке наружным диаметром 5,6 м и внутренним – 5,3 м.

Двухпутные перегонные тоннели мелкого заложения и участок выхода на поверхность сооружаются механизированным проходческим комплексом в обделке наружным диаметром 10,4 м и внутренним – 9,4 м. Сквозная проходка двухпутным сечением осуществляется от врезки у ст. «Южная» до единственной демонтажной камеры у ст. «Проспект Славы».

Выбор варианта строительства в виде двухпутного тоннеля был обусловлен следующими причинами:

- исключается необходимость сооружения в сложных инженерно-геологических условиях многочисленных, через каждые 160–200 м, сбоек между тоннелями;
- отсутствие камер съездов и возможность при необходимости организовывать съезды без дополнительных горнокапитальных работ;
- возможность устройства в сводовой части обделки канала дымоудаления;
- более удобно организовать, при необходимости, эвакуацию пассажиров;
- организовать в нижней части обделки кабельный коллектор;

- уменьшить негативное воздействие на окружающие здания и сооружения.

Станция метрополитена «Проспект Славы» принята пилонного типа.

Станция «Дунайский проспект» с боковыми посадочными платформами будет сооружаться в открытом котловане с целью более рационального использования подземного пространства, в частности, уменьшения объема обратной засыпки котлована. В надстанционном объеме предусматривается размещение вестибюлей и других служебных помещений.

На станциях «Дунайский проспект» и «Южная» предусмотрено устройство лифтов для маломобильных групп населения.

Исходя из данных пассажиропотоков и требований к эвакуации пассажиров станция глубокого заложения «Проспект Славы» должна была бы быть обустроена двумя разнесенными наклонными ходами. В первом предусмотрены четыре ленты эскалаторов, а во втором – их должно быть три, при этом во втором наклонном ходе вместо четвертого эскалатора устанавливается наклонный подъемник (фуникулер) для подъема и спуска маломобильных пассажиров, инвалидов, родителей с детскими колясками.

Использование части наклонного хода для размещения подъемника сводит к минимуму строительные и эксплуатационные затраты и обладает целым рядом положительных факторов:

- не надо сооружать специальную лифтовую шахту с поверхности, предусматриваемую СНиП, и горизонтальную подходную выработку от лифтовой шахты на платформу;
- исключается необходимость строительства дополнительных затворов;
- обеспечивается более комфортное обслуживание пассажиров.

Продление Фрунзенского радиуса на юг обеспечит метрополитеном жителей спального района Купчино, а при должной организации движения наземного транспорта – Колпино и Шушар, а также осуществит стабильную транспортную связь активно развивающегося автомобильного центра Санкт-Петербурга (автомобильные заводы «Тойота», «Дженерал моторс» и т. п.) с центром города.



НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ИНСТИТУТА ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПЯТЬ ЛЕТ



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

Со времени последнего отчета на страницах журнала о нашей научной деятельности прошло пять лет. Это был 2006 г. – 60 лет институту. Хотя, конечно, публикации по различным направлениям метро- и тоннелестроения были, необходимо подвести итоги нашей деятельности к 65-летию Ленметрогипротранса.

Очень важным явилась разработка совместно с Тоннельной ассоциацией России и УРАН и ПКОН РАН «Методического руководства по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей», которое согласовано Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ и включено в реестр обязательных нормативных документов.

Сегодня проект горно-экологического мониторинга является неотъемлемой частью проекта транспортного тоннеля, а проведение самого мониторинга – это важный элемент технологического процесса строительства тоннеля.

Горно-экологический мониторинг осуществляется в целях снижения вредного влияния горных работ на окружающую среду, обеспечения промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей.

Основными задачами горно-экологического мониторинга являются:

- обеспечение безопасности при сооружении и эксплуатации транспортных тоннелей;
- оценка состояния окружающей среды при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей;
- прогноз состояния окружающей среды при строительстве, в том числе изменений, вызванных техногенными авариями;
- разработка рекомендаций по предупреждению или снижению вредного влияния про-

ходческих работ и эксплуатации на окружающую среду.

По результатам проведения горно-экологического мониторинга создаётся банк данных:

- инженерно-геологические условия;
- деформативно-прочностные характеристики литологических разностей пересекаемых тоннелем;
- технология строительства;
- конструкция крепи;
- напряженно-деформированное состояние крепи;
- специальные способы работ;
- конструкция обделки;
- напряженно-деформированное состояние обделки;
- гидрогеологические условия, водопроявления;
- дренажные системы;
- результаты экологических наблюдений.

Используя такой банк данных, создается база для аналогового проектирования тоннелей. Разрабатываются экспериментально-теоретические методы расчета подземных сооружений.

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 (рис. 1). В процессе строительства для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) обделки проводили геотехнический мониторинг. В результате проектирования, строительства и проведенного геотехнического мониторинга приняты территориальные нормы на проектирование и строительство подземных выработок Петербургско-

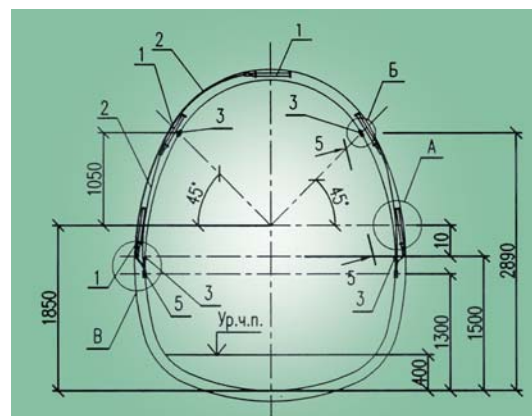


Рис. 1. Постоянная обделка из набрызг-бетона эвакуационно-вентиляционной выработки: 1 – датчики напряжений, 2 – кабели

го метрополитена в кембрийских глинах с постоянной набрызг-бетонной обделкой.

На шахте № 620 был реализован проект строительства руддвора и вентгоннеля 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 (рис. 2). Проходку осуществляли полностью механизированным способом с жесткой арочнобетонной крепью. Во время строительства проводили геотехнический мониторинг; в задачи которого входили:

- определение напряженно-деформированного состояния элементов крепи и окружающего грунтового массива в натуральных условиях;
- оценка устойчивости массива в призабойной зоне;
- определение деформаций дневной поверхности.

Отсутствие деформаций на дневной поверхности дает основание говорить о реали-

зации малоосадочной технологии строительства. Устойчивость выработки при заданных конструктивно-технологических параметрах была обеспечена.

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;
- проект строительства трехсводчатой станции с применением опережающих забой инъекционных анкеров, экраном из труб, набрызг-бетонным креплением, монолитной железобетонной обделкой, геотехническим сопровождением всех этапов строительства и эксплуатации.

При традиционном замораживании водонасыщенных грунтов для проходки эскалаторных тоннелей после их сооружения и оттаивания массива образуются значительные осадки дневной поверхности и деформации зданий. Для минимизации осадок была разработана комбинированная технология стабилизации четвертичных водонасыщенных грунтов, которая реализована при строительстве эскалаторного тоннеля ст. «Звенигородская». На первом этапе с помощью вертикального бурения и струйной технологии цементным раствором осуществляли закрепление водонасыщенных грунтов в виде толстостенного цилиндра. Затем производился геофизический контроль сплошности закрепленного массива.

Вдоль тоннеля бурили наклонные скважины в укрепленном грунте, с помощью которых вели подмораживание по периметру будущего наклонного хода. После этого осуществляли еще один цикл геофизического контроля сплошности массива грунтов, стабилизированного с применением комбинированной технологии. Проходку наклонного хода вели с арочнотонной кольцевой крепью, на внутренней поверхности которой устраивали гидроизоляция. Постоянная обделка выполнена из монолитного железобетона.

В процессе строительства проводился геотехнический мониторинг, в который входили исследования:

- напряженно-деформированного состояния крепи и обделки;
- фактических деформативно-прочностных характеристик массива;
- деформаций дневной поверхности.

В пять раз были уменьшены осадки дневной поверхности по сравнению с традиционным замораживанием.

Следует иметь в виду, что чрезвычайно важным является контроль сплошности грунтового массива, укрепленного комбинированным методом.

Еще одним направлением минимизации осадок дневной поверхности при сооружении эскалаторных тоннелей является применение тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с пригрузом забоя. Так,

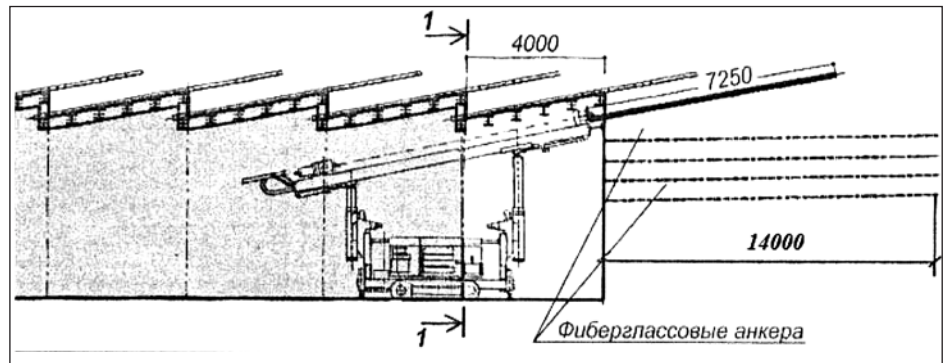


Рис. 2. Малоосадочная технология сооружения венттоннеля шахты № 620

были достаточно успешно пройдены два наклонных хода ст. «Обводный канал» и ст. «Адмиралтейская» с водонепроницаемой высококачественной обделкой из железобетонных блоков. Особенно ответственным было сооружение эскалаторного тоннеля ст. «Адмиралтейская», поскольку над ним находятся исторические памятники архитектуры центра города.

Неотъемлемой частью технологии сооружения были геотехнический мониторинг и компенсационное инъецирование в грунтовой массив.

Геотехнический мониторинг включал непрерывные наблюдения за состоянием системы «массив – обделка» строящегося тоннеля для контроля и своевременного принятия мер, направленных на минимизацию влияния горных работ на окружающую среду и повышения безопасности проходческих работ. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

- оценить состояние окружающей застройки и дневной поверхности;
- контроль высотных и горизонтальных смещений окружающей застройки;
- контроль качества работ по укреплению грунтов котлована;
- определение напряженно-деформированного состояния системы «обделка – массив»;
- определение фактических деформативно-прочностных характеристик литологических разностей по трассе тоннеля;
- контроль качества заполнения тампонажным раствором заобделочного пространства;
- определение смещений вмещающего массива над тоннелем при его проходке;
- определение внутрипластового давления во вмещающем массиве и состояния грунтов за обделкой.

Результаты мониторинга использовали, в частности, при «адресном» компенсационном инъецировании в разуплотненные зоны массива для недопущения деформаций зданий, превышающих допустимые.

Таким образом, в Санкт-Петербурге созданы новые технологии и конструкции, обеспечивающие значительное снижение осадок дневной поверхности, ускоряющие и удешевляющие строительство метрополитена.

Следует кратко остановиться и на проблемах прокладки горных тоннелей. В условиях горного рельефа и при субвертикальных

структурах возникают большие трудности в проведении инженерно-геологических изысканий. Сложный горный рельеф не позволяет доставить в нужные места по трассе тоннелей буровые установки, субвертикальные структуры требуют бурения разведочных скважин вдоль трассы. Более того, образцы нарушенных грунтов, выбуренные из массива, не обладают физико-механическими характеристиками при их естественном залегании. Ярким примером являются проектирование и строительство тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и тоннелей строящейся трассы Адлер – «Альпика-Сервис».

Поэтому геотехническая часть в составе горно-экологического мониторинга включает:

- прогноз инженерно- и гидрогеологических условий впереди забоев тоннелей;
- оценку устойчивости призабойных участков тоннелей;
- определение напряженно-деформированного состояния крепи и обделок;
- определение фактических деформативно-прочностных свойств вмещающего массива;
- исследование водопроявлений;
- корректировку проектных решений на основании данных геотехнического мониторинга;
- оценку устойчивости оползневых склонов.

Во многом результаты геотехнического мониторинга позволили принимать правильные технические решения в части технологии сооружения горных тоннелей, конструкций крепи и обделок. При этом создан банк данных по инженерно-геологическим, гидрогеологическим, природно-климатическим условиям и соответствующим им способам сооружения, конструкциям крепи и обделок, что дает возможность осуществлять методологию аналогового проектирования.

На основании проведенных исследований разработаны экспериментально-теоретические методы расчета подземных конструкций, новые методы натурных наблюдений.

Институт за это пятилетие несколько раз побеждал в конкурсе «За внедрение передовых технологий при освоении подземного пространства», ведущие сотрудники коллектива «за выдающийся вклад в создание и внедрение новых перспективных технологий и конструкций» награждены золотой медалью им. В. Г. Шухова.

ОСНОВАТЕЛЬ ШКОЛЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ (к 125-летию со дня рождения А. Н. Пассека)

Д. М. Голицынский, д. т. н., профессор кафедры тоннелей и метрополитенов ПГУПС

Александр Николаевич Пассек родился 21 октября 1886 г. в семье старинного дворянского рода Пассеков (с XVII в.) представители которых сыграли заметную роль в истории России. Династия Пассеков насчитывает много выдающихся военных, писателей, юристов, археологов-этнографов и инженеров путей сообщения. Наибольшую известность получил Петр Богданович Пассек (1736–1804) – активный сторонник Екатерины, участвовавший в свержении императора Петра III. После переворота он становится генерал-губернатором в Белоруссии, получает звание генерал-адъютанта и орден Св. Андрея Первозванного – высший орден Российской Империи.

Александр Николаевич Пассек в 1912 г. окончил Петербургский институт инженеров путей сообщения и в течение длительного времени работал на сооружении железных дорог (Амурская, Оренбург – Орская, Восточно-Амурская), главным образом на прокладке тоннелей, а также начальником работ на строительстве военной железной дороги Трапезундского района.

Начиная с 1917 г. А. Н. Пассек трудился в должностях зам. главного инженера на участках Мурманской железной дороги, одновременно являясь экспертом и консультантом многих тоннельных проектов в различных проектных организациях. Александр Николаевич проявил себя энергичным, творческим специалистом, активно внедряющим все новое и эффективное в отечественное тоннелестроение. Так, при строительстве железнодорожных тоннелей вблизи станции Облучье (Дальневосточная железная дорога) им впервые в нашей стране был применен метод замораживания горных пород. Используя свой богатый производственный опыт, Александр Николаевич с 1923 г. начинает заниматься педагогической деятельностью, поступив преподавателем в институт инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ). Первый выпуск инженеров-тоннельщиков, которым руководил А. Н. Пассек, состоялся в 1927 г. Среди первых специалистов-тоннельщиков были В. Л. Маковский, Л. М. Бобровский, А. В. Гуреева и др. В 1929 г. по тоннельной специальности защитили дипломы такие известные в дальнейшем специалисты как Ю. А. Лиманов и Г. П. Андреевский. А. Н. Пассек читал курсы лекций по тоннелям, строительному искусству и водным путям сообщения. Наряду с научной и педагогической деятельностью Александр Николаевич ведет большую работу и на производстве. Так, с 1927 г. А. Н. Пассек тру-

дился в Ленинградском отделении Энергостроя в качестве консультанта и являлся автором проектов деривационных тоннелей Ульбинской, Дзорогетской, Рионской и Нивской гидроэлектростанций – первенцев ГОЭЛРО.

Учитывая потребность в подготовке высококвалифицированных кадров по тоннельной специальности, связанную со строительством первых линий Московского метрополитена и реконструкцией транспортных тоннелей старой постройки, Комитет по высшему образованию при ЦИК СССР 14 июня 1930 г. постановил организовать в ЛИИЖТе первую в стране кафедру тоннелей, начальником которой был утвержден А. Н. Пассек. С этого времени он много сил и знаний отдает делу подготовки кадров тоннельщиков в нашей стране. К этой работе он сумел привлечь наиболее квалифицированных преподавателей, таких как Ю. А. Лиманов, А. А. Богородецкий, О. Е. Бугаева и многих других, которые способствовали созданию школы отечественного тоннелестроения.

А. Н. Пассеком опубликовано свыше 10 монографий и учебников, а также большое количество журнальных статей по горным, подводным и гидротехническим тоннелям, которые послужили научной основой для развития тоннелестроения в нашей стране. Многие из печатных работ А. Н. Пассека не потеряли своего практического значения и в наше время.

Благодаря фундаментальным научным трудам, большому практическому и высокому профессиональному авторитету А. Н. Пассек в 1934 г. утверждается в звании профессора по кафедре тоннелей, а в 1938 г. без защиты диссертации – в степени доктора технических наук.

Несмотря на напряженную научную и педагогическую работу, Александр Николаевич не прерывает тесных связей с производством. С 1932 г. А. Н. Пассек является ученым руководителем по тоннелям Ленинградского НИИ коммунального хозяйства и консультантом сектора тоннелей Ленгипротранса.

При строительстве Московского метрополитена А. Н. Пассек был назначен главным консультантом и участвовал в государственной экспертизе по выбору способов производства тоннельных работ. Так, по предложению профессоров А. Н. Пассека и А. В. Ливеровского была окончательно принята к производству проходка тоннелей в центре Москвы закрытым способом. Учениками А. Н. Пассека (Г. П. Андриевский, В. П. Волков,



А. И. Венустов, В. А. Барсуков, П. А. Годеричко) был разработан проект первого отечественного проходческого щита.

За свою плодотворную работу А. Н. Пассек был награжден знаком Почета Моссовета и благодарностями ЦИКа.

Александр Николаевич принимал активное участие и при проектировании линий Ленинградского метро.

В период сталинских репрессий А. Н. Пассек был необоснованно обвинен в контрреволюционной пораженческой агитации и в июле 1941 г. арестован и выслан в Красноярский край. Однако вскоре его дело было прекращено за отсутствием состава преступления, и он был освобожден в апреле 1942 г.

В последние годы своей жизни А. Н. Пассек продолжал заведовать кафедрой тоннелей ЛИИЖТа, но в связи с болезнью не читал лекции, а занимался научно-исследовательской и методической работой, руководил курсовым и дипломным проектированием, консультируя строителей Ленинградского метро. Репрессии его самого, отца, брата, сына и других членов семьи подорвали его здоровье и ускорили кончину.

Скончался Александр Николаевич Пассек 30 марта 1951 г. в возрасте 65 лет. Крупный ученый, педагог, основатель отечественной школы тоннелестроения, участник сооружения многих сложных подземных объектов – таким его знают многочисленные ученики и последователи, которые продолжают дело профессора А. Н. Пассека.



НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНСА С САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ГОРНЫМ УНИВЕРСИТЕТОМ



А. Г. Протосеня, д. т. н., декан факультета Освоения подземного пространства СПбГУ

Сотрудничество между Санкт-Петербургским государственным горным университетом и институтом «Ленметрогипротранс» началось со дня основания последнего.

В начальный период изысканий, проектирования и строительства метрополитена изучением свойств глин занимались ЛГИ (Горный институт – ныне СПбГУ), кафедра инженерной геологии, 1945–1970 и 1981–1989 гг., и ВНИМИ (Научный центр геомеханики и проблем горного производства СПбГУ). Глины исследовались преимущественно лабораторными методами. Образцы отбирались из кернов разведочных скважин и из монолитов, полученных при разработке глин в забоях. Использовались компрессионные испытания, одноосные испытания на сжатие по стандартной методике, испытания в стабиллометрах при различных значениях бокового давления (Н. П. Бажин, В. Д. Ломтадзе, А. В. Кузьмин, Ю. М. Карташов, Б. В. Матвеев, Р. Э. Дашко и др.).

Физические свойства грунтов изучались более 20 лет лабораторией кафедры инженерной геологии Горного университета по монолитам из изыскательских буровых скважин и отдельным крупногабаритным пробам непосредственно из выработок метрополитена (В. Д. Ломтадзе, 1967). Накопленные за последующие годы данные использованы кафедрой инженерной геологии СПбГУ в работе по инженерно-геологической съемке Большого Ленинграда в обоснование Генерального плана города (А. В. Кузьмин, 1984, 1989).

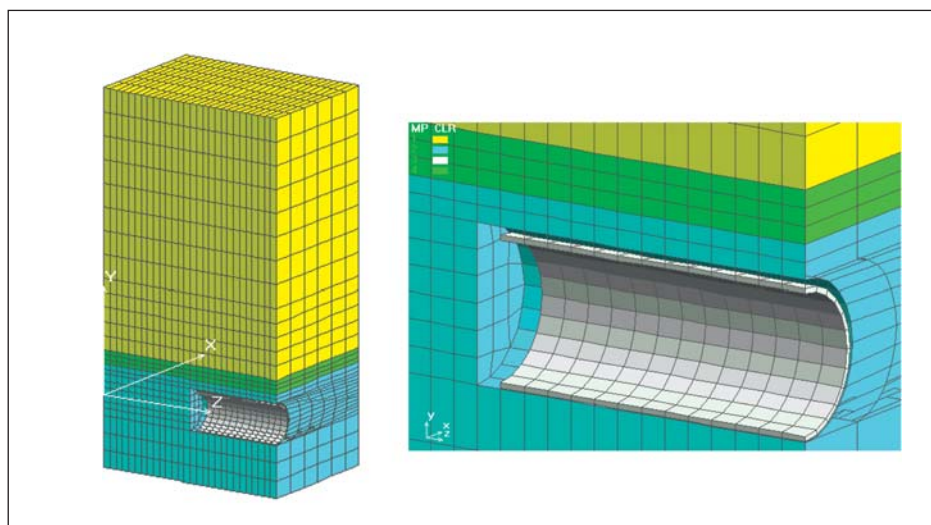


Рис. 1. Конечно-элементная модель для пространственной задачи

Большой объем работ был выполнен ВНИМИ по сдвигению грунтового массива и осадкам земной поверхности (В. Н. Земисов, А. Г. Акимов, Ю. Б. Файнштейн и др.). В разработку геотехнического мониторинга при строительстве тоннелей метрополитена значительный вклад внес Ю. А. Норватов, а в расчеты станций метрополитена «закрытого типа» – Б. З. Амосин и др.

В начале 70-х гг. прошлого века зав. кафедрой Горного университета Н. С. Бульчевым было сформулировано и систематизировано новое научное направление – механика подземных сооружений, на основе которого были разработаны методические указания по расчету обделок подземных сооружений.

Методы расчета конструкций обделок тоннелей были использованы при прокладке Байкало-Амурской магистрали.

Горным университетом созданы методы расчета устойчивости обнажений в проходческих забоях тоннелей метрополитена (Ю. Н. Огородников, Д. А. Потемкин). Были предложены критерии ее оценки по сжимающим напряжениям, сдвиговым обнажениям и по продавливанию глин в забой. Разработана методика расчета параметров временной крепи лба забоя.

Созданы также пространственные модели прогноза напряженно-деформированного состояния грунтового слоистого массива в призабойной области тоннеля (рис. 1).

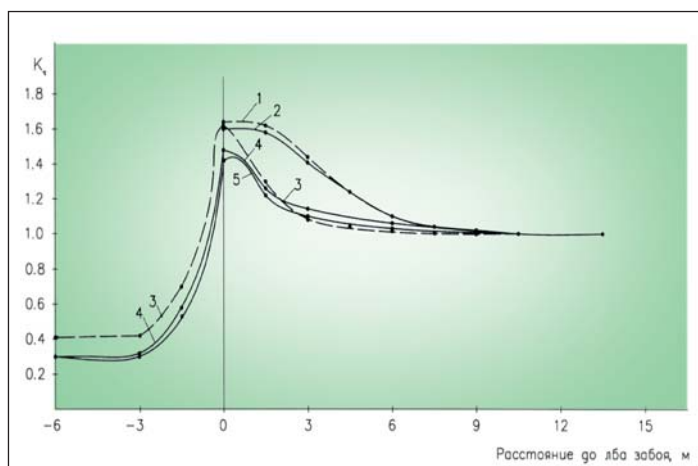


Рис. 2. Коэффициенты концентрации максимальных касательных напряжений в вертикальной осевой плоскости впереди забоя: 1, 2 – на уровне оси сечения при потолочине 5 м (1) и 20 м (2); 3, 4 – на уровне кровли тоннеля при потолочине 5 м (3) и 20 м (4); 5 – на уровне почвы тоннеля

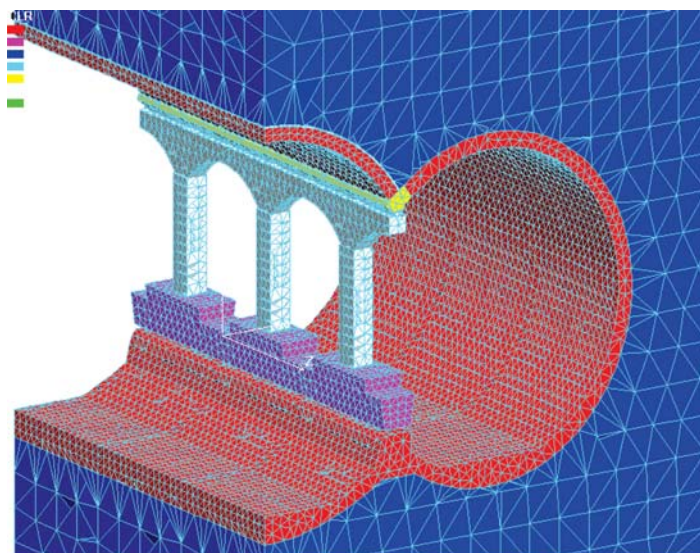


Рис. 3. Объемная конечно-элементная модель колонной станции

На основании сопоставления концентрации τ_{\max} в моделях с разной мощностью глин в кровле построен график (рис. 2) изменения k_t по горизонтальным линиям на уровне оси сечения, кровли и у кровли забоя при потолочине 5 м. Из рис. 2 следует, что максимальная концентрация τ_{\max} имеет место в центре и у кровли забоя при потолочине 5 м. В грунте величина коэффициентов k_t практически не зависит от мощности глин в покровной толще.

Анализ процесса формирования напряженно-деформированного состояния (рис. 3) происходил на следующих этапах возведения станции:

- разработка первого пилот-тоннеля $\varnothing 5,5$ м до $\varnothing 8,5$ м;
- второго пилот-тоннеля $\varnothing 5,5$ м до $\varnothing 8,5$ м;
- установка колонно-прогонных комплексов и сооружение верхнего свода;
- разработка станции на полное сечение и устройство обратного свода.

На рис. 4 приведены изолинии сжимающих напряжений для последнего этапа сооружения станции, анализ которых показывает, что вертикальные напряжения в элементах верхнего свода среднего тоннеля увеличиваются по мере приближения к тубингу ОЧС. В самом ОЧС они возрастают в местах его опирания на металлобетон, достигая 26 МПа. Наибольшие сжимающие напряжения формируются в нижней части верхнего опорного элемента. Также концентрация напряжений наблюдается в боках обделки станции, достигая максимальной величины 12 МПа на их внутренних поверхностях.

Горизонтальные напряжения σ_x в обделке нижних сводов среднего и боковых тоннелей не превышают 6 МПа. В элементах верхнего свода боковых тоннелей напряжения σ_x достигают величины 5 МПа. В верхнем своде среднего станционного тоннеля максимальные горизонтальные напряжения $\sigma_x = 7$ МПа возникают в среднем горизонтальном сечении обделки, наименьшие – в боках.

Горным университетом совместно с ОАО «Ленметрогипротранс» разрабатывались ме-

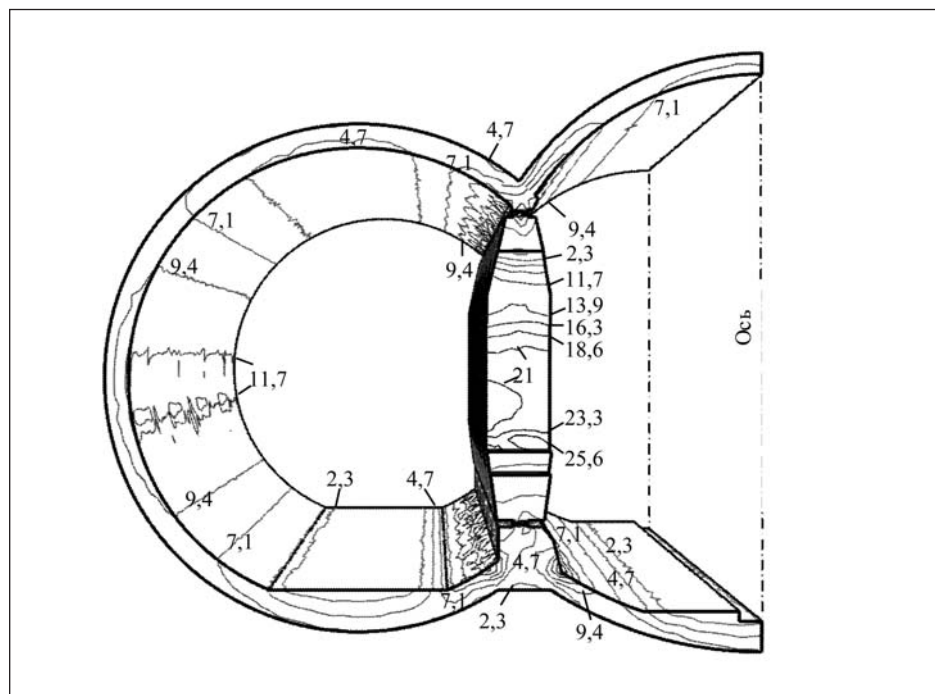


Рис. 4. Изолинии максимальных сжимающих напряжений при сооружении станции на полное сечение, МПа

тоды расчета таких сложных конструкций, как колонные (П. А. Деменков) и пилонные (В. А. Маслак, К. П. Безродный, А. Г. Протосеня, П. А. Деменков, М. А. Карасев, Н. А. Беляков) трехсводчатые станции на различных этапах их сооружения. Для расчетного анализа использован метод конечных элементов (МКЭ).

Колонная станция представляет собой единую большепролетную пространственную конструкцию, которая включает значительное число различных по форме и материалу элементов.

Выполнено обоснование пилонной станции, возводимой по малоосадочной технологии, средний станционный тоннель которой имеет монолитное исполнение. Тоннель представляет собой выработку сводчатой формы, ее высота в свету составляет 10,5 м, ширина 7,3 м. Боковые тоннели имеют обычное исполнение, принятое при строительстве

пилонных станций метрополитенов глубоко-го заложения с диаметром вчере 8,5 м.

Малоосадочная технология строительства среднего станционного тоннеля обеспечивается за счет передового крепления его забоя фиброглассовыми анкерами, а свода – металлическими трубами с заполнением их бетонным раствором (рис. 5). Сооружение ведется уступным способом в два этапа.

Для выполнения численного моделирования технология строительства пилонной станции была разбита на шесть основных этапов, оказывающих наибольшее влияние на формирование напряженно-деформированного состояния ее конструкций. На каждом этапе осуществлялось постепенное подвигание забоя и возведение крепи. Каждый из них разбивался на расчетные шаги для моделирования постепенного подвигания забоя и включения в работу конструкций.

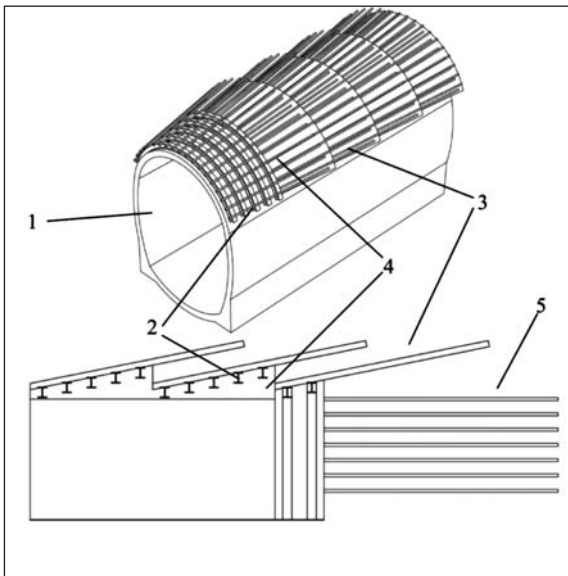


Рис. 5. Конструкция передового крепления свода среднего станционного тоннеля: 1 – монолитная железобетонная обделка; 2 – стальные арки (стальные арки показаны только на одном участке, на остальных скрыты); 3 – трубы, заполненные бетоном; 4 – бетон низкого класса по прочности или набрызг-бетон; 5 – фиброгласовые анкера

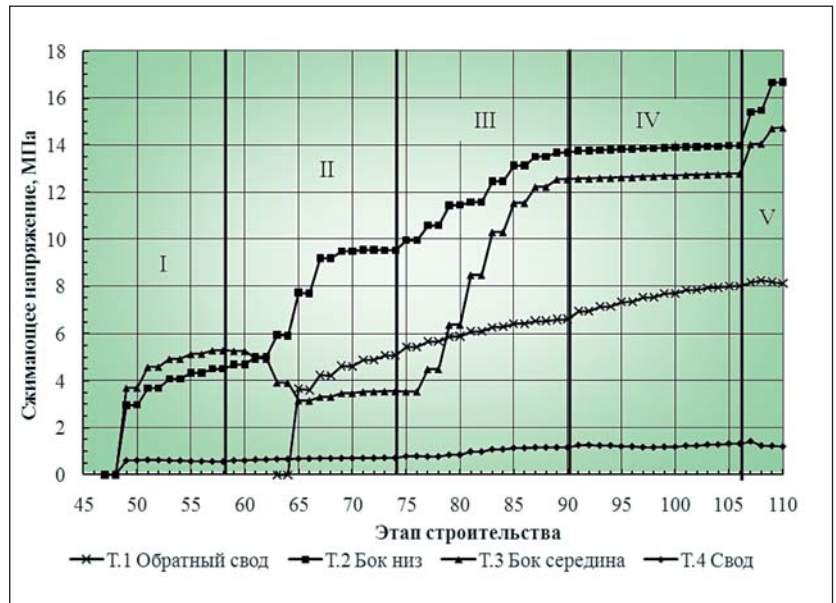


Рис. 6. Графики развития тангенциальных сжимающих напряжений по внутренней поверхности обделки на различных этапах строительства станции: I – раскрытие ядра сечения и крепление среднего тоннеля; II – раскрытие обратного свода среднего тоннеля; III – раскрытие левого бокового тоннеля; IV – раскрытие правого бокового тоннеля; V – раскрытие проемов

Всего в модели было выделено 110 шагов расчета.

Сетка конечных элементов сгущается вокруг станции и укрупняется к периферии модели. При моделировании использовались твердотельные четырехузловые и оболочечные элементы. Количество элементов в модели составило 410 тыс. Разработанная модель учитывает влияние последовательности ведения проходческих работ, порядка установки временной крепи и постоянной обделки на напряженное состояние элементов конструкций станции.

В модели рассмотрены следующие основные этапы проходки и крепления станционных тоннелей:

- на первом этапе строительства выполняется проходка верхнего свода среднего зала станции на временном креплении;
- на втором производится разработка уступа среднего тоннеля с последующей установкой постоянной обделки из монолитного железобетона заходками по 2 м;
- на третьем этапе осуществляется разработка и возведение постоянной обделки обратного свода среднего тоннеля заходками по 2 м. Высота нижнего уступа 2,8 м;
- на четвертом сооружается левый боковой тоннель. Его проходка моделировалась заходками по 2 м;
- на пятом моделируется строительство правого бокового тоннеля. Оно выполнялось аналогично проходке левого тоннеля на предыдущем этапе;
- на шестом этапе строительства производят раскрытие и бетонирование проемов. Проемы сооружаются с каждой стороны среднего тоннеля последовательно, начиная со стороны левого тоннеля. Всего в модели было смоделировано раскрытие четырех проемов.

Напряженно-деформированное состояние и параметры конструкции обделки трехсводчатой станции метрополитена и временной крепи определяются на основе учета совместной работы обделки и временной крепи, этапов раскрытия поперечных сечений тоннелей и армирования грунтового массива.

В разработанной дискретной конечно-элементной модели малоосадочной трехсводчатой станции имелось 20 полигональных арок из двутавра № 30 временной крепи.

Выполнен расчет напряжений в железобетонных конструкциях пилонной станции метрополитена, результаты которого приведены на рис. 6.

Анализ результатов расчетов показывает, что при раскрытии обратного свода среднего тоннеля в нижней боковой части обделки наблюдается увеличение напряжений.

При разработке левого бокового тоннеля зафиксирован небольшой рост напряжений на внутренней поверхности обратного свода, а затем резкий рост. При этом на его наружной поверхности с некоторого момента сжимающие напряжения равны нулю.

При раскрытии проемов наблюдается полная стабилизация сжимающих напряжений (8 МПа) на внутреннем контуре обратного свода. При этом на внутреннем контуре в боках на этом этапе происходит скачкообразный рост сжимающих напряжений.

На внутренней поверхности свода среднего тоннеля наблюдается равномерное возрастание сжимающих напряжений в течение всего периода строительства, но их величины незначительны – порядка 1 МПа.

В целом, из расчета следует, что тангенциальные напряжения сжатия на последнем

этапе строительства, равно как и на всех предыдущих этапах, не превышают расчетного предела прочности бетона класса В35 на сжатие.

Рассмотренная конструкция трехсводчатой пилонной станции, сооружаемой по малоосадочной технологии, рекомендуется к применению в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях мегаполисов.

Специалисты Горного университета (О. В. Тимофеев, А. Г. Протосеня и др.) предложили спуск и подъем пассажиров на станции метрополитена осуществлять через вертикальные стволы с помощью многоместных лифтов, что является весьма перспективным направлением.

В течение длительного времени Горным университетом выполняются работы по расчету вентиляции тоннелей (С. Г. Гендлер и др.).

Горный университет осуществляет подготовку специалистов различного профиля для ОАО «Ленметрогипротранс». Проектные материалы института используются при подготовке дипломных и курсовых проектов. Совместно с ОАО «Ленметрогипротранс» выполняются и научные работы. Так, оппонентом при защите кандидатской диссертации Н. И. Кулагина был доцент университета к. т. н. О. В. Тимофеев, а докторской – профессор д. т. н. А. Г. Протосеня. Научным руководителем при подготовке кандидатских диссертаций В. А. Маслаком и М. О. Лебедевым был профессор А. Г. Протосеня. Д. т. н. К. П. Безродный защитил кандидатскую диссертацию в Горном университете, а в настоящее время является председателем ГАК по защите дипломных проектов (специальность «Шахтное и подземное строительство»).



ФОРМИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ ТЕОРИИ И АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК



Н. С. Булычев, Н. Н. Фотиева, Тульский государственный университет
К. П. Безродный, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Механика подземных сооружений

Механика подземных сооружений – это наука о напряженно-деформированном состоянии, прочности и устойчивости инженерных конструкций подземных сооружений, контактирующих с массивом горных пород (крепей горных выработок и обделок подземных сооружений).

Основополагающим ее принципом является принцип взаимодействия крепи с массивом пород, при котором крепь и окружающий массив пород рассматриваются как элементы единой деформируемой системы («крепь – массив»). Она воспринимает все внешние нагрузки и воздействия, испытывая в процессе совместных деформаций контактное взаимодействие элементов системы. Благодаря этому принципу расчет подземных конструкций выделяется по своим методам и подходам в особую категорию, не имеющую аналогов среди методов расчета других строительных конструкций, поскольку исключает задание нагрузок на крепь (горное давление) в качестве исходных данных к расчету.

При расчете подземных конструкций в качестве нагрузок и воздействий на систему «крепь – массив» выступают гравитационные или тектонические силы, сформировавшие природное поле напряжений в нетронутом массиве, воздействие сейсмических волн напряжений при землетрясениях и др. При этом особую роль играет технология (способ) подземного строительства, который влияет на построение расчетных схем

и, в конечном счете, – на напряженное состояние крепи.

С принципом взаимодействия связаны два основных положения теории. Первое: в качестве модели массива пород принимается линейно деформируемая среда, к которой применимы методы математической теории упругости. Благодаря этому положению математическим языком механики подземных сооружений является математический аппарат теории упругости, развитый в классических трудах отечественных ученых: Н. И. Мухелишвили, Д. И. Шермана, С. Г. Лехницкого, их учеников и современных авторов. Отсюда следует принципиально важная особенность аналитических методов расчета крепи: они основаны на строгих (аналитических) решениях соответствующих задач теории упругости (соответствующих принятым расчетным схемам).

Механика подземных сооружений рассматривает только стадию совместного деформирования крепи и пород. Начальная стадия нелинейного деформирования и возможного разрушения пород до возведения крепи относится к механике горных пород и учитывается при формировании исходных данных.

Отметим еще раз, что в механике подземных сооружений не требуется задание нагрузок на крепь. Они, как таковые, утрачены придаваемое им ранее значение исходных данных. Нормальные и касательные напряжения на контакте крепи с мас-

сивом пород определяются в процессе расчета крепи и являются промежуточным результатом. Внешние нагрузки и воздействия воспринимаются системой «крепь – окружающий массив».

Изложенные фундаментальные положения позволяют с единых позиций исследовать напряженно-деформированное состояние всех видов конструкций крепи, включая монолитные и сборные, анкерные и набрызг-бетонные, комбинированные и многослойные, на все виды нагрузок и воздействий, в том числе природные гравитационные или тектонические поля напряжений в массиве пород, сейсмические воздействия землетрясений, гидростатическое давление подземных вод, искусственные поля напряжений, вызываемые технологией строительства (например, замораживанием пород и др.).

Как это было

Аналитические методы расчета крепи горных выработок (в том числе – вертикальных стволов) привлекали внимание ведущих ученых Советского Союза. Первые разработки в этом направлении выполнили академики А. Н. Динник, Г. Н. Савин и др. Важную роль в формировании и развитии методов расчета крепи сыграли крупномасштабные натурные исследования, проведенные под руководством проф. Г. А. Крупеникова (ВНИМИ, Ленинград) в строящихся вертикальных шахтных стволах Донбасса, а также – теоретические ис-

следования под руководством проф. К. В. Руппейнта (НИИОСП им. Н. М. Герсванова, Москва).

Выход аналитических методов расчета крепи горных выработок и тоннелей из стадии поисков и разработок на уровень научной теории и ее практического приложения можно считать произошедшим на 1972–1974 гг. В 1972 г. был издан первый учебник «Механика подземных сооружений» для вузов. В 1974 г. опубликованы две монографии, в которых было отражено развитие методов расчета крепи и изложены основные положения аналитических методов расчета двух видов крепи выработок: многослойной круглого сечения и произвольного поперечного.

Вслед за этим последовало признание теории механики подземных сооружений и новых, аналитических, методов расчета крепи, которое проявилось в следующих событиях.

Обсуждение проблемы крепления капитальных выработок глубоких шахт и новых методов и программ расчета крепи на Всесоюзном научно-техническом семинаре – секций НТС Госстроя СССР, Союзшахтостроя Минуглепрома СССР, Центрального и Ленинградского правлений НТГО (Ленинградский горный институт, 22–24.10.1974 г.).

Решение Минвуза РСФСР о включении дисциплины «Механика подземных сооружений» в учебный план подготовки горных инженеров-строителей (1975 г.).

Проектирование и расчет тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (1978 г.). Головной институт по проектированию горных транспортных тоннелей «Ленметрогипротранс» выбрал аналитические методы расчета, и программисты института составили первые программы РК1 и РК2 для ЭВМ (БЭСМ-6), соответственно, – для выработок произвольного поперечного сечения и выработок круглого сечения. Расчет обделок всех тоннелей БАМа (60 км в исключительно сложных инженерно-геологических условиях) был выполнен институтом по составленным им программам.

Расчеты по новому методу были сложны и трудоемки. Сотрудникам института вместе с учеными ЛИИЖТА и Горного института пришлось более года потрудиться над составлением и отладкой программ и алгоритмов для ЭВМ. При проектировании тоннелей БАМа было выполнено более трех тысяч расчетов.

Издание первых двух нормативных документов строительных норм и правил по тоннелям и метрополитенам, в которых рекомендовалось применение аналитических методов расчета в следующих формулировках: «Напряженно-деформированное состояние обделки и грунтового массива определяется методами механики сплошной среды» и «Статические расчеты тоннельных обделок следует производить с учетом линейной работы материала конструкций и грунта, используя математический аппарат строительной механики и теории механики сплошных сред».

Выпуск первого учебника «Механика подземных сооружений», рекомендованного для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Шахтное и подземное строительство» (рецензент акад. Е. И. Шемякин, ИГД СО АН СССР). Академик Н. В. Мельников высоко оценил учебник и написал к нему предисловие. Второе его издание удостоено в 1996 г. премии Правительства Российской Федерации.

Остановимся на вызывающей вопросы главе СНиП II-94-80 «Подземные горные выработки» (1982 г.) и на изданном годом позже «Руководстве по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи» (составлено к главе СНиП II-94-80).

Первые рекомендации по выбору крепи вертикальных шахтных стволов были разработаны ВНИМИ на основании результатов натурных исследований, и даны в приложении к главе СНиП II-М-4-65 («Подземные горные выработки предприятий по добыче полезных ископаемых». – М.: Стройиздат, 1966). Пришло время, и вышла в свет новая глава СНиП. Однако сразу же последовало большое количество писем в Госстрой СССР (и в Минуглепром СССР) из проектных и исследовательских институтов с серьезными замечаниями по поводу недостатков в содержании разделов: «Основные расчетные положения» и «Расчет устойчивости пород и нагрузок на крепь». В связи с этим по указанию Минуглепрома СССР было разработано в достаточно срочном порядке «Руководство» к главе СНиП.

В предисловии к Руководству отмечается, что при его составлении учтены предложения и замечания специалистов Госстроя СССР, Союзшахтоспецпроекта Минуглепрома СССР, институтов Днепрогипрошахт, Гипрошахт, Южгипрошахт, ИГД им. Сочинского, Кривбасспроект и НИГРИ Минчермета СССР, ИГД СО АН СССР, Гипроникель и Гипроцветмет Минцветмета СССР, НИИОСП и ЦНИИпромзданий Госстроя СССР.

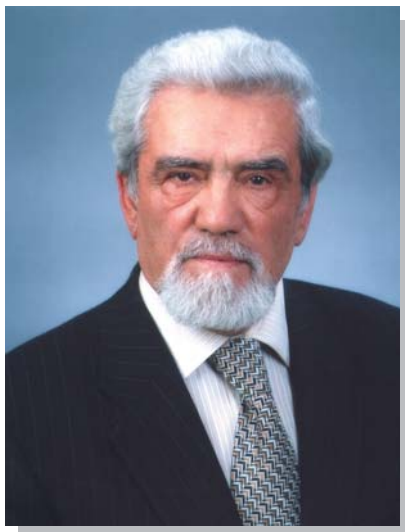
В Руководстве были включены положения об аналитических методах расчета крепи горных выработок (раздел 2 и приложения 21 и 22). Приложение 22 – «Статический и прочностной расчет конструкций крепи вертикальных выработок» имеет непосредственное отношение к данной работе.

Аналитические методы расчета получили в течение более 30 лет развитие и широкое применение при проектировании и строительстве в СССР километров стволы шахт, тоннелей различного назначения и других подземных сооружений. Заметим, что при этом не зафиксировано ни одного случая разрушения крепи вследствие неадекватного расчета. Заметим, что предшествующие методы расчета по «заданным нагрузкам» отмечены не только повреждениями, но и крупными авариями подземных сооружений, например, разрушение свода машинного зала Кольской ГЭС, крепи ствола Донского ГОКа (Казахстан) и др.

В настоящее время можно отметить крутой поворот мировой науки и практики к аналитическим методам расчета подземных конструкций. Сошлемся, в частности, на положительные результаты, по сути дела, первого масштабного применения аналитического метода расчета блочной обделки тоннелей в Англии на скоростной железнодорожной магистрали, связывающей Лондон с Евротоннелем (Channel Tunnel Rail Link), которая была построена в 2003–2007 гг. На магистрали проложено 40 км однопутных тоннелей. Их блочная обделка была спроектирована с помощью аналитического метода расчета (метод Muir-Wood, скорректированного Curtis). В результате железобетонные блоки были заменены сталефибро-бетонными, при этом был получен экономический эффект. Интересно отметить, что в строительстве тоннелей принимали участие известные фирмы: «Кавасаки», «Вирт», «Ловат», «Херренкнехт» вместе с английской фирмой «Доско».



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ



«В наше тяжелое время невозможно и прямо-таки безбожно заставлять бедного и среднего обывателя тратить на одни только передвижения в течение суток столько времени. Поэтому нет никаких сомнений, что в миллионных городах сама необходимость заставляет приступить к устройству в них таких путей сообщения, которые бы не зависели от все увеличивающегося уличного городского движения и которые бы обладали наибольшей провозоспособностью и скоростью, иначе говоря, необходимо приступить к устройству метрополитенов», – так писал в 1902 г. один из первых теоретиков отечественного метростроения, инженер путей сообщения П. И. Балинский (Метрополитен северной столицы. С.П.: Лики России, 1995 г.).

Ю. С. Фролов, д. т. н., Петербургский государственный университет путей сообщения

Современный Санкт-Петербург является самым крупным из северных городов мира, численность постоянного населения которого превосходит 4,5 млн человек. В городе функционируют все виды городского пассажирского транспорта, включая метрополитен. Однако и сегодня проблема городских массовых пассажирских перевозок не потеряла актуальности.

С особой остротой проблема обозначилась в последнее десятилетие в связи с возрастанием числа автомобилей, исчерпанием пропускной способности уличных магистралей и нехваткой мест для стоянки автомашин. Несмотря на рост уровня автомобилизации населения 73 % спроса на пассажирские перевозки обеспечивает общественный транспорт. При этом структурную основу системы городского пассажирского транспорта Петербурга составляет метрополитен, являясь единственным надежно функционирующим видом городского пассажирского транспорта общего пользования. В 2000–2010 гг. были введены в строй новые станции метрополитена, что привело к увеличению протяженности его линий до 113,6 км с 64 станциями. Однако плотность его транспортной сети остается весьма низкой и составляет всего 0,17 км на 1 км² площади города, что недостаточно для Санкт-Петербурга (для сравнения – плотность транспортной сети линий метрополитена Москвы – 0,26 км, Лондона – 1,21 км, Парижа – 2,8 км). Весьма высоким сохраняется показатель, характеризующий комфортность поездки – пассажиронапряженность линий (число перевезенных за год пассажиров, приходящееся на 1 км линии). Так, на линиях Петербургского и Московского метрополитенов она достигает 14 млн пасс/км·год, в

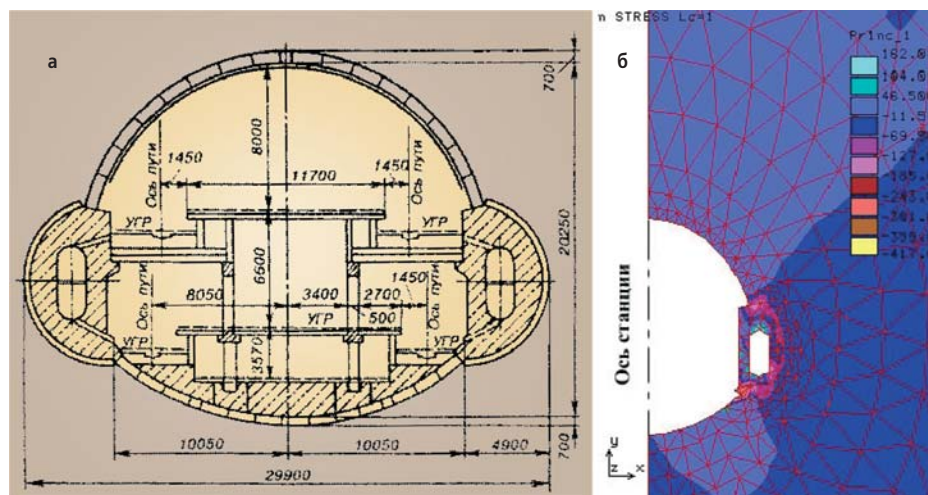


Рис. 1. Конструктивная схема станции «Спортивная» (а) и геомеханическая модель для численного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции и вмещающего грунтового массива



Рис. 2. В лаборатории математического моделирования

то время как в Лондоне – 1,5, Гамбурге – 1,95, в Нью-Йорке – 2,6.

Анализ сложившейся транспортной ситуации и оценка перспектив развития города позволяют сделать вывод о дальнейшем ухудшении транспортной ситуации в Санкт-Петербурге. Так, исходя из прогнозируемых тенденций демографического, социально-экономического и градостроительного развития, объемы перевозок пассажиров на общественном транспорте возрастут примерно на 35 % по сравнению с ныне существующими. Поэтому еще в 2002 г. правительство города одобрило «Программу развития метрополитена и других видов скоростного внеуличного транспорта Петербурга до 2015 года». Специалистами отрасли отмечалось, что впервые за постсоветские годы был осуществлен комплексный подход к перспективам развития городской транспортной инфраструктуры. Однако из-за отсутствия надлежащего финансирования эту программу в 2008 г. пришлось откорректировать на перспективу до 2020 г., сделав ее еще более амбициозной.

В новой Программе (проект) обосновано решение об экономической, социальной и экологической целесообразности вложения инвестиций в сооружение метрополитена и определены необходимые объемы работ. За 12–15 лет намечается построить и ввести в эксплуатацию 70 км новых линий и 41 станцию. Очевидно, что успешная реализация намеченных планов будет зависеть не только от финансирования, но и в значительной степени от внедрения прогрессивных конструктивно-технологических решений, обеспечивающих снижение материальных и финансовых затрат, высокие темпы и экологическую безопасность возведения объектов метрополитена.

Как показывает многолетний опыт, поставленные задачи всегда успешно решались в тесном содружестве проектировщиков и строителей с учеными кафедры тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения. Многолетняя научно-практическая деятельность коллектива кафедры широка и многообразна и включает обширный круг исследований, однако приоритетным всегда было направление, связанное со строительством подземных сооружений Петербургского метрополитена.

Результаты научных исследований, выполненных методами физического и математического моделирования, использованы при разработке новых конструкций колонных и односводчатых станций в Санкт-Петербурге, в том числе при проектировании и сооружении уникальной двухъярусной объединенной пересадочной станции «Спортивная» (рис. 1, 2).

При непосредственном участии ученых кафедры решались вопросы конструктивно-технологических решений при восстановлении участка первой линии метрополитена в зоне «Размыв».

Наиболее значимой научной работой, выполненной за последние годы в направле-



Рис. 3. В лаборатории физического моделирования

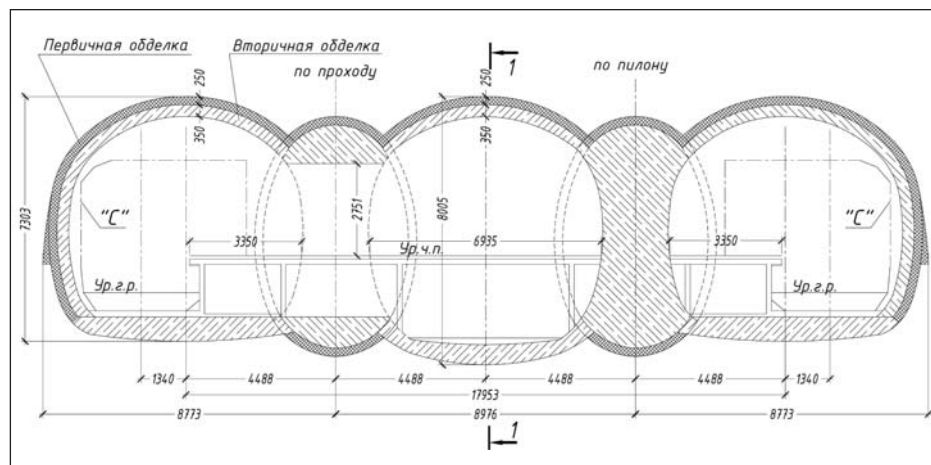


Рис. 4. Конструктивная схема пилонной станции с двухслойной обделкой: первичной – из набрызг-бетона с арматурными арками, вторичной – из монолитного железобетона

нии совершенствования методов проходки тоннелей Петербургского метрополитена, является комплекс исследований, проведенный совместно с учеными ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» и специалистами ЗАО «СМУ-11». Работа связана с внедрением новой технологии проходки выработок с применением опережающей крепи кровли и лба забоя в протерозойских глинах.

Новизна технологии и нетрадиционные конструктивные решения крепи, а также сравнительно небольшой опыт их применения в отечественной практике подземного строительства не позволили использовать метод аналогий и повторных решений в конкретных инженерно-геологических условиях. Вопросы, связанные с оценкой несущей способности столь сложной системы крепи с учетом технологии ее возведения и последовательности раскрытия выработки, предварительно были решены с помощью физического моделирования (рис. 3). Методика моделирования эквивалентными материалами и результаты исследований изложены в работе «Устойчивость выработки с опережающей крепью кровли и лба забоя в протерозойских глинах» (*Метро и тоннели*, № 2, 2008 г.).

Метод позволил на крупномасштабных моделях с максимальным приближением к натуре отразить конструктивные особенности крепи, основные характеристики грунта, воспроизвести особенности технологии работ и тем самым обеспечить подобие мо-

дельных и природных механических процессов. Результаты исследований позволили перейти к реализации проекта на опытном участке строящегося метрополитена.

Однако конечной целью исследований по этой тематике мы считаем внедрение на линиях Петербургского метрополитена технологии возведения пилонных станций с обделкой из монолитного железобетона (вместо дорогостоящей сборной обделки) и механизированной разработкой грунта. Ведь проходка подавляющего большинства станционных тоннелей Петербургского метрополитена до настоящего времени осуществляется с разработкой грунта вручную отбойными молотками с выполнением сложных и трудоемких операций по креплению кровли и лба забоя (за 60 лет строительства вручную разработаны миллионы кубометров грунта).

Внедрение технологии сооружения станционных конструкций с применением опережающей крепи кровли и лба забоя и обделки из монолитного бетона диктуют необходимость проведения предварительной качественной и количественной оценки работы новой конструкции на различных этапах ее сооружения. Такой ответственный и трудоемкий процесс планируется провести на кафедре в ближайшей перспективе. На первом же этапе прорабатываются возможные варианты конструктивно-технологических решений пилонной станции из монолитного железобетона, один из которых заимствован из арсенала австрийских специалистов и представлен на рис. 4.

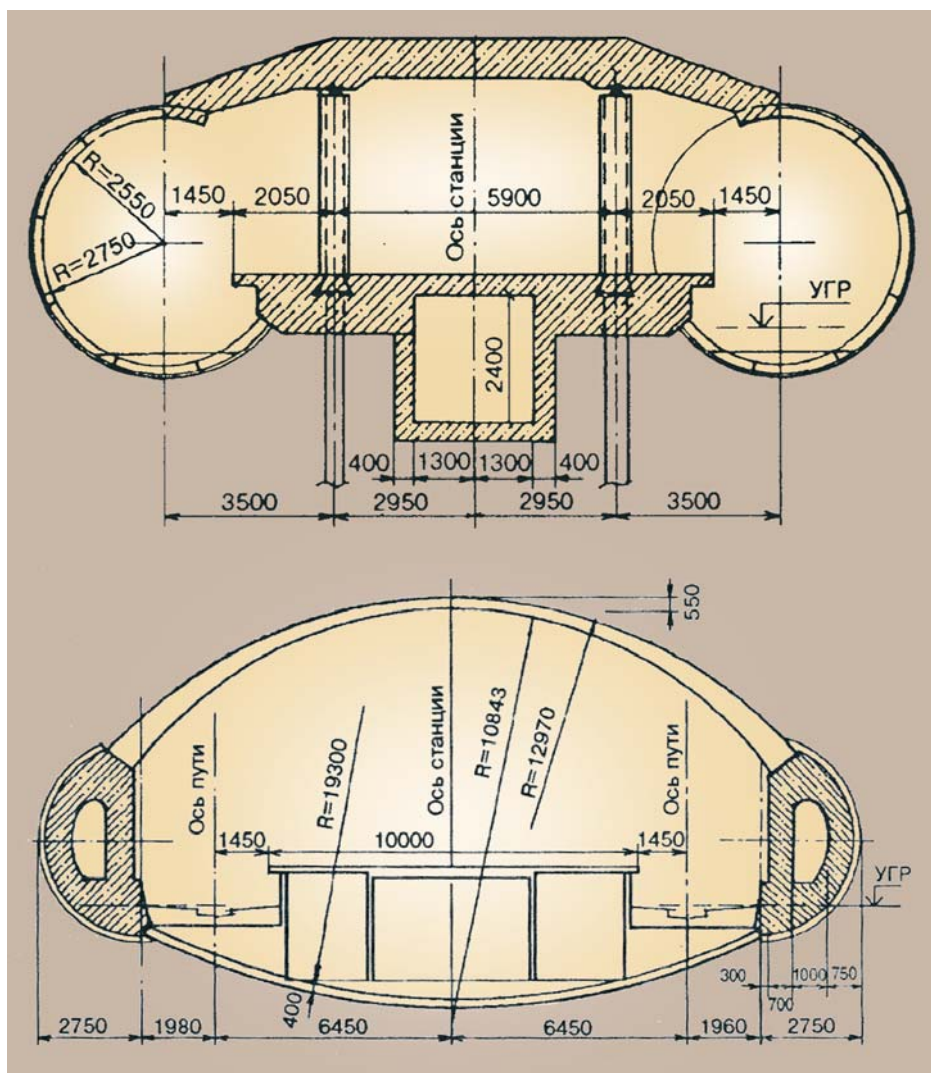


Рис. 5. Конструктивная схема колонной и одноводчатой станций на линии мелкого заложения, сооружаемой методом сквозной проходки

Отличительной особенностью представленной на рисунке пилоновой станции является нетрадиционная последовательность сооружения тоннелей. Вначале проходят два «пилоновых» тоннеля, в которых бетонированы бетонные стены с проходами. Эти бетонные стены-пилоны являются опорами при возведении сводов боковых и среднего тоннелей станции. Таким образом, исключается трудоемкий процесс устройства проходов между станционными тоннелями.

Главной особенностью при внедрении новой конструкции станции является большой объем работ, связанных с устройством первичной отделки из омоноличенных набрызг-бетоном арматурных арок, которая выполняет двойную функцию: временной крепи (для обеспечения устойчивости выработок во время разработки грунта) и первичного слоя постоянной отделки. Для широкого применения набрызг-бетона на объектах метроостроя имеются определенные предпосылки. Так, ранее (1975–1980 гг.) проведенными на кафедре лабораторными и расчетно-теоретическими исследованиями была обоснована возможность и целесообразность использования набрызг-бетона для закрепления выработок в слабых грунтах.

Результаты работы были подтверждены натурными исследованиями статической работы данных конструкций в протерозойских глинах, которые выполнялись в 1976 г. на опытных участках вспомогательных выработок диаметром 3,6; 4,3 и 6,0 м. Образованная указом Министерства транспортного строительства (№-БВ-618 от 19 апреля 1985 г.) в мае 1985 г. комиссия отметила, что конструкция постоянной отделки из набрызг-бетона рекомендуется к дальнейшему применению. Однако в те годы работы по внедрению были приостановлены, и возобновлены совместно с Ленметрогипротрансом только в 2007 г. при сооружении эвакуационной сбойки (Новая конструкция набрызг-бетонной отделки. Безродный К. П., Голицынский Д. М. и др. // Метро и тоннели № 1, 2009). Суждено ли в широком масштабе внедрить набрызг-бетон на строительстве нашего метро – зависит от руководителей организаций, призванных решать вопросы модернизации отрасли.

В связи с предусмотренным в вышеупомянутой Программе большим объемом работ по развитию линий Петербургского метрополитена нам представляется целесообразным рассмотреть их трассирование в пери-

ферийных районах на мелком заложении. Тенденция роста протяженности линий мелкого заложения на сети отечественных и зарубежных метрополитенов обусловлена их определенными преимуществами в темпах строительства, его стоимости и эксплуатационных расходах по сравнению с линиями глубокого заложения.

Существующие в настоящее время технологические решения и технические возможности позволяют вести прокладку тоннелей на мелко заложённых линиях в сложных инженерно-геологических и гидрологических условиях Петербурга.

Анализ многочисленных проектных решений подземных сооружений метрополитена на линиях мелкого заложения (осуществленных и неосуществленных), изучение периодической и специальной литературы, а также определенный опыт автора в вопросах проектирования, строительства и научных исследований в этой области, дали возможность выявить недостатки, присущие традиционно принятым схемам.

В первую очередь отметим, что высокая производительность труда на сооружениях линии достигается только по отдельным видам работ, и, главным образом, при проходке перегонных тоннелей. В целом же на пусковом участке этот показатель остается низким. Темпы строительства сдерживают работы на станционных комплексах, отсутствие задела на новом объекте к моменту завершения работ на предыдущем, а также сложности организации непрерывного и равномерного строительного производства, такого, где оперативно решался бы вопрос о соотношении подготовительных работ на одних участках, о развороте их на других и завершений на третьих. Трудоемкими и малопродуктивными являются работы, связанные с креплением котлованов. Одновременное сооружение нескольких станций пускового участка в котлованах больших размеров занимает тысячи квадратных метров городской площади, существенно осложняя работу наземного транспорта, так как в этом случае узлы важнейших магистралей города перекрываются одновременно и, как правило, на длительный срок.

Таким образом, весьма актуальными становятся задачи осуществления прокладки метрополитена на линиях мелкого заложения по наиболее прогрессивным проектам. Это послужило поводом пересмотреть организационно-технологические и конструктивные решения, основываясь на поточном методе организации работ на всем пусковом участке строящейся линии с непрерывной (сквозной) проходкой перегонных тоннелей и последовательным сооружением каждого станционного комплекса по мере прохода через него щитов. Более подробно суть концепции сквозной проходки при строительстве линий метрополитена мелкого заложения изложена в монографии «Метрополитены на линиях мелкого заложения. Новая



Рис. 6. Оценка качества ограждения котлована из грунтоцементных свай (а) и состояния грунтового массива за обделкой тоннеля с помощью георадара

концепция строительства» Ю. С. Фролов, Ю. Е. Крук.

При методе сквозной проходки особое значение приобретает требование соответствия конструктивного решения технологическим приемам сооружения стационарного комплекса. В развитие новой концепции, на кафедре были разработаны и научно обоснованы принципиально новые конструктивные решения колонной и односводчатой станций и соответствующие способы их возведения, которые отвечали бы поставленным требованиям. На основе новой концепции совместно с Ленметрогипротрансом еще в 90-х годах были разработаны конструктивные решения двух станций полузакрытого способа работ: колонной и односводчатой (рис. 5).

Единый технологический процесс, связывающий работы на перегонах и станционных комплексах, позволит повысить темпы строительства, увеличить производительность труда, сократить потребность в единовременных материальных и людских ресурсах. Щитовая проходка перегонных тоннелей и сооружение станционных комплексов полузакрытым способом обеспечивают щадящий режим строительства метро в плотнозастроенных городских кварталах за счет уменьшения площади котлована, сокращения времени от его раскрытия до обратной засыпки конструкций и за счет последовательного выполнения этих работ на станциях пускового участка линии. Новаторские идеи сооружения метрополитена на линиях мелкого заложения методом сквозной проходки признаны специалистами новым прогрессивным направлением в отрасли и рекомендованы к внедрению на объектах метростроения. Однако в силу различных обстоятельств до их реализации дело не дошло.

Большую научно-исследовательскую работу по исследованию статической работы обделки тоннелей мелкого заложения с учетом нагрузки от сооружений на дневной поверхности кафедра выполнила в рамках проекта, поддержанного грантом ИНТАС, со-

вместно с Тульским государственным университетом, Московским институтом «Гидроспецпроект», Чешским техническим университетом в Оставе и университетом в г. Лидсе (Англия).

В последнее десятилетие выполнен большой объем работ по обследованию и мониторингу подземных сооружений Петербургского метрополитена. Работа включала также анализ методами математического моделирования напряженно-деформированного состояния действующих тоннелей и других объектов метрополитена с разработкой рекомендаций по их капитальному ремонту и реконструкции. Сотрудниками кафедры обследованы станции «Пионерская», «Удельная», «Площадь Мужества», «Спортивная», «Автово», выполнен ряд проектов по усилению и реконструкции отдельных узлов и элементов станций «Пионерская», «Ленинский проспект», «Гражданский проспект».

В 2008 г. на кафедре создана научно-аналитическая группа по развитию городского транспорта. Важным направлением ее работы является исследование влияния наземного строительства на действующие сооружения метрополитена и иные подземные транспортные коммуникации. Эти вопросы становятся все более актуальными по мере уменьшения свободных площадей под городскую деловую, коммерческую и жилищную застройку, а также при рассмотрении вопросов размещения зданий в охранной зоне метрополитена. В последние годы группой был выполнен ряд работ по обследованию станций и иных подземных сооружений метрополитена с целью установления возможности строительства вблизи или над ними крупных наземных объектов, а также для оценки степени влияния новых объектов транспортной инфраструктуры на эксплуатационную надежность сооружений метрополитена. Были обследованы конструкции станционных комплексов и дана оценка их технического состояния в зоне влияния строительства ТК «Сенная» и ТРК «Пик» (ст. «Сенная площадь»), ТДЦ «Василеостров-

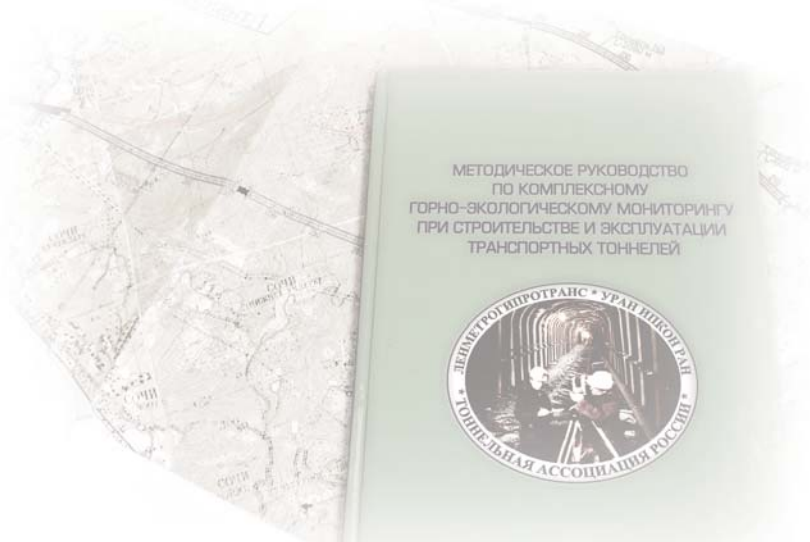
ский» (ст. «Василеостровская»), ТЦ «Французский бульвар (ст. «Ленинский проспект»), жилищно-культурно-бытового комплекса в районе ст. «Проспект просвещения» и ряд других объектов.

Одно из развивающихся направлений деятельности кафедры – разработка методики и проведение мониторинга при строительстве городских объектов с устройством глубоких котлованов при проходке эскалаторных тоннелей щитами с активным пригрузом забоя и сборной железобетонной обделкой (рис. 6).

Высокий профессиональный уровень сотрудников кафедры как инженеров и ученых востребован при решении особо важных вопросов, касающихся эксплуатационной надежности подземных сооружений метрополитена. Они неоднократно входили в состав экспертной комиссии Госстроя России, участвуют в совещаниях, организованных агентством Росжелездор по проблемам развития метрополитенов в городах России, привлекаются к работе технических советов профильных организаций и соответствующих комитетов правительства Санкт-Петербурга при рассмотрении проблемных ситуаций, возникающих на строительстве метрополитена, являются членами Научно-технического экспертно-консультационного Совета Петербургского регионального отделения Тоннельной ассоциации России, входят в состав исполнительной дирекции НП «Объединение подземных строителей».

Основные результаты исследований, проведенных на кафедре с целью внедрения новых конструктивно-технологических решений на Петербургском метрополитене и обеспечения эксплуатационной надежности его подземных сооружений, изложены в монографиях, учебниках, отраслевых справочниках и нормативных документах, а также в многочисленных публикациях в периодической печати. Материалы исследований докладывались на международных научных семинарах, конференциях и конгрессах (Россия, США, Англия, Германия, Бразилия, Индия, Нидерланды).

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ



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

С начала своей производственной деятельности институт «Ленметрогипротранс» осуществляет проектирование транспортных подземных объектов, многие из которых не имели аналогов не только в отечественной, но и в мировой практике. Новизна решаемых проблем, их многоплановый и комплексный характер потребовали организации научного сопровождения проектных работ. Поэтому в 1993 г. был образован научно-исследовательский отдел (НИО), а институт получил статус научно-исследовательского и проектно-изыскательского.

В настоящее время научно-исследовательский отдел общей численностью в 23 человека включает в себя лаборатории:

- геомеханических исследований (зав. лабораторией к. т. н. М. О. Лебедев);
- геофизических исследований (зав. лабораторией к. г.-м. н. А. Д. Басов);
- геоэкологии и аэрологии (зав. лабораторией д. т. н. С. Г. Гендлер).

Координируют научно-исследовательскую деятельность в институте доктора технических наук К. П. Безродный и Н. И. Кулагин. Всего же научный потенциал института определяют и поддерживают 4 доктора и 12 кандидатов наук.

Главные задачи и назначение работ научно-исследовательского отдела:

- проведение инженерных геофизических и геоэкологических изысканий (в том числе и в составе комплексных инженерно-геологических изысканий на стадиях «Проект» и «Рабочий проект») для получения и уточнения исходных данных, необходимых для проектирования строительства подземных сооружений и обоснования их конструктивных параметров;
- научное сопровождение проектных работ и реализации самого проекта путем организации и проведения непрерывного гор-

но-экологического мониторинга по ходу сооружения подземных объектов;

- организация и проведение мониторинга за конструкциями тоннельных объектов в процессе их эксплуатации.

Указанные задачи реализуются за счет проведения исследований по следующим основным направлениям:

- организация и проведение изыскательских геофизических и геоэкологических работ по изучению состояния, свойств, состава и структуры массива горных пород и окружающей среды в районе проектируемых сооружений;

- обеспечение промышленной и экологической безопасности при строительстве и эксплуатации подземных объектов;

- инженерно-техническое обследование и оценка технического состояния конструкций подземных объектов и наземных зданий и сооружений;

- а также организация и создание мониторинговых систем контроля:

- геомеханических процессов в системе «подземное сооружение-массив» вследствие воздействия природных или техногенных явлений;
- опасных геодинамических геологических явлений (оползни, сели и пр.) в зоне влияния транспортных подземных сооружений;

- за термодинамическими, химическими и физико-химическими параметрами воздушной и водной сред в подземных выработках;

- разработка и совершенствование методов расчётов подземных сооружений, геотехнических процессов, методик геомеханических и геофизических наблюдений, а также разработка и изготовление аппаратуры и оборудования для стационарных мониторинговых систем различного назначения;

- физическое и математическое моделирование аэротермогазодинамических процессов в подземных сооружениях различного назначения;

- разработка и совершенствование методов выбора конструктивных параметров вентиляционного и калориферного оборудования.

В настоящее время НИО обладает уникальным оборудованием для проведения изыскательских и исследовательских работ; оригинальными методиками обработки и интерпретации результатов измерений, методами расчета напряженно-деформированного состояния горных пород и процессов тепломассопереноса в выработках и горных породах, в том числе: методика оценки природных и техногенных сейсмических воз-

действий на подземные сооружения; способы оценки напряжённо-деформированного состояния системы «массив-тоннель», как в период строительства, так и при эксплуатации; методика выбора параметров тепловой защиты тоннельных конструкций и обустройств от образования наледей; методика выбора параметров вентиляционного оборудования для проветривания автомобильных тоннелей; способ оценки негативного воздействия транспортных подземных объектов на атмосферный воздух и пути минимизации этого воздействия.

Созданная научно-методическая и инструментальная база геотехнического мониторинга обеспечивает безопасность строительства и эксплуатацию транспортных тоннелей. Особенность реализации геотехнического мониторинга состоит в непрерывности его осуществления, начиная от стадии инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий в процессе проектирования и собственно строительства, и кончая стадией эксплуатации.

При этом в процессе изысканий изучается литология массива, гидрогеология, физико-механические характеристики литологических разностей, в том числе в зависимости от их нарушенности, наличие разломов, разуплотнённых зон, полостей и т. д. Эта информация также уточняется на стадии сооружения тоннелей.

Для получения дополнительной инженерно-геологической информации и корректировки технологии проходки, конструкций крепей и обделок по результатам геотехнического мониторинга в период строительства, в частности, осуществляются:

- опережающая разведка впереди забоя инженерно-геологических условий без бурения методом сверхширокополосной (СШП) георадиолокации;
 - определение устойчивости призабойного участка подземной выработки методом регистрации естественной электромагнитного излучения (ЕЭМИ);
 - определение напряжённо-деформированного состояния крепей и обделок по установленным датчикам в конструкции и смещению контура выработки;
 - определение фактических физико-механических свойств грунтов на пройденной части подземной выработки методом сейсмoproфилирования.
- Областью работ НИО являются также:
- инструментальное обследование действующих и недостроенных тоннелей с разработкой заключений и рекомендаций о возможности их реконструкции и достройки;
 - разработка рекомендаций по методам ведения специальных способов работ, в том числе: инъекционного закрепления грунтов, струйного измерения деформационно-прочностных свойств грунтов, организации дренажных систем в подземных выработках;
 - обоснование и разработка способов полного предотвращения снижения осадков дневной поверхности и зданий при проход-



Рис. 1. Определение НДС обделки методом разгрузки

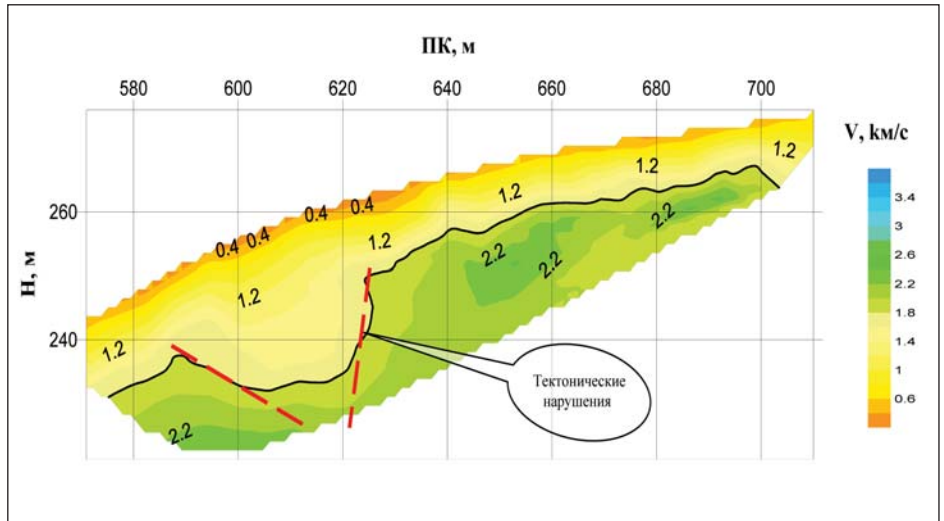


Рис. 2. Сейсмотомографический скоростной разрез по продольным волнам на участке изысканий на железнодорожном тоннеле № 4-бис СКЖД

ке подземных выработок с помощью компенсационного инъецирования;

- разработка рекомендаций по способам защиты поверхности тоннельных конструкций и обустройств от образования наледей (по патентам РФ № 1728325, 2123117);
- создание схем проветривания протяженных железнодорожных тоннелей (по патентам РФ № 1627723, 1716164, 2124131, 2134353);
- составление проектов по оценке воздействий на окружающую среду и ведению экологических мониторингов при строительстве подземных сооружений.

Таким образом, научно-исследовательский отдел занимается проведением исследований практически по всему кругу вопро-

сов, связанных со строительством транспортных тоннелей.

Остановимся на некоторых особенностях или конкретных аспектах и моментах проводимых работ.

Геомеханические исследования в тоннелях предназначены для изучения природного напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива, мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций обделок и крепей. На рис. 1 показано, в частности, определение НДС обделки тоннеля методом разгрузки. Для контроля изменений НДС в обделках при строительстве и на период эксплуатации при монтаже конструкций обделки в нее монтируются струнные датчики деформаций. Геомеха-

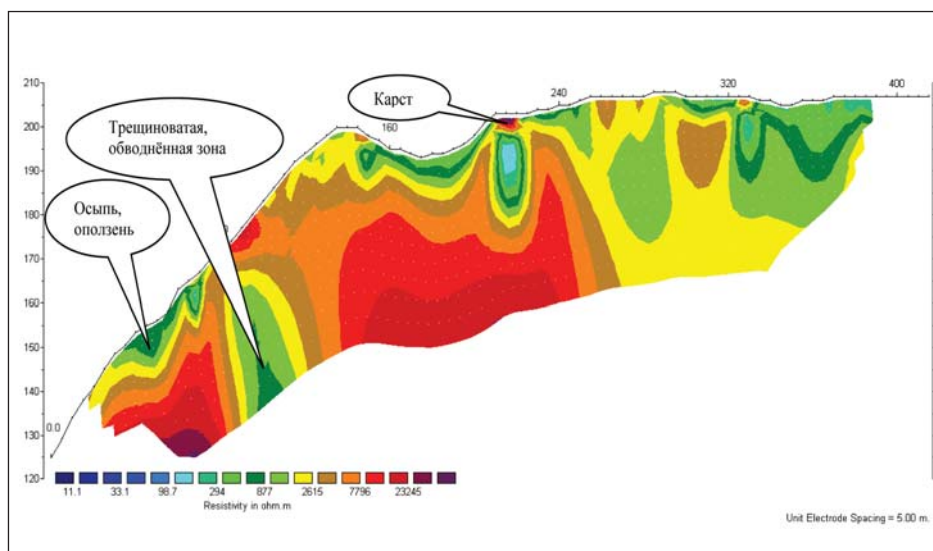


Рис. 3. Электротомографический разрез по участку изысканий на автодорожном тоннеле № 1 на трассе Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис»

нические исследования в тоннелях включают также в себя проведение контроля смещений внутреннего контура тоннеля с помощью лазерного дальномера, контроль динамики раскрытия-закрытия трещин в обделке по специальным мерным базам и стыков между секциями обделки.

Выполняется контроль качества скрытых строительных работ – это важная часть геомеханических исследований. Качество бетона обделки определяется путем отбора проб (керн) при выбуривании с последующими испытаниями прочности в лабораторных условиях на прессе, а также неразрушающими методами контроля в натуральных условиях с помощью ультразвуковых измерений.

Геофизические методы исследований осуществляются на всех стадиях, начиная с организации и проведения изысканий и научного сопровождения проектных работ, получения исходных данных для проектирования и строительства тоннелей и кончая мониторингом в процессе сооружения и эксплуатации тоннелей.

В соответствии с нормативно-методическими документами и требованиями геофизические методы применяются, прежде всего, на стадии предпроектных и проектных работ для капитального строительства.

На стадии проектирования тоннельных сооружений при проведении инженерно-геофизических изысканий используется следующий комплекс геофизических методов:

- сейсморазведка методом преломленных или отраженных волн (МПВ и МОВ) на дневной поверхности, с помощью которой изучается и уточняется литологический и/или геоструктурный разрез и оцениваются деформационно-прочностные свойства горных пород. Результатом сейсморазведочных работ являются сейсмогеологические (сейсмотомографические) в модифицированном методе преломленных волн (рис. 2) или временные в методе отраженных волн разрезы;
- электроразведка в различных модификациях (электропрофилирование СГ и другими

установками, ВЭЗ, метод естественного электрического поля и др.), с помощью которого, прежде всего, оцениваются инженерно-геологические и гидрогеологические условия и состояние горного массива, в частности, его обводненность и трещиноватость (рис. 3);

- сверхширокополосная георадиолокация с поверхности земли (СШП-геозондирование). Этот метод позволяет получить дополнительную информацию о литологическом строении массива, его обводненности, трещиноватости, особенно, на труднодоступных участках и местах (например, по рельефу), где, например, выполнять сейсморазведку практически невозможно;

- профилирование методом ЕЭМИ – регистрация и контроль поля естественного (не наведенного!) электромагнитного излучения (эмиссии) горного массива. Этот метод основан на изучении аномального поведения и изменения магнитной составляющей естественного электромагнитного излучения-эмиссии (ЕЭМИ) горных пород в местах изменения геомеханических напряжений в результате микродвижек или микросдвигания пород по контактам блоков (поверхностям скольжения), например, в зонах разломов и в других тектонически-напряженных зонах. С помощью ЕЭМИ оценивается геодинамическое (напряженно-деформированное) состояние или активность горного массива, где будет располагаться подземное сооружение и определяются природные геокритические зоны, например, активность оползневых процессов (рис. 4.), а также потенциально опасные по вывалам и проявлению неустойчивости пород в процессе горных работ при возведении объектов.

Вышеуказанные методы геофизических исследований применяются в качестве изыскательских не только с поверхности, но и, к примеру, из существующих тоннелей, если новый проектируется рядом или параллельно со старым. Методика геофизических наблюдений из тоннелей остается практичес-

ки той же, что и на поверхности, за исключением некоторых особенностей.

В последнее время геофизические методы нашли и находят все большее распространение уже на стадии строительства или реконструкции подземных сооружений, а также в процессе их эксплуатации, но с иными целями и решением уже несколько другого круга задач.

Так, например, в период строительства (реконструкции) подземных сооружений геофизические методы применяются с целью повышения безопасности горнопроходческих работ путем оперативного, опережающего и более детального, чем на стадии изысканий, прогноза возможных негативных изменений геологической, горнотехнической и гидрогеологической ситуации в горном массиве впереди забоя (например, внезапное вскрытие забоем сильно обводненной и трещиноватой локальной зоны или зоны с неустойчивыми породами, приводящее к завалам выработки).

В частности, для более детальной оценки трещиноватости и обводненности горного массива впереди забоя используется метод СШП-георадиозондирования. Им же выявляются полости за обделкой или крепью, т. е. оцениваются условия контакта обделки с массивом и осуществляется оценка качества тампонажных работ, при этом контролируется толщина обделки, определяются размеры вывалов, разуплотнений, пустот и пр. СШП-зондирование дает возможность контроля заполнения пустот и зон разуплотнений, образующихся после вывалов пород, а также контроля опережающего забой инъекционного закрепления грунтов зон разломов и эффективность цементации грунтов за обделкой.

Для опережающего прогноза подхода проходческого забоя к опасным по геодинамическим проявлениям активным тектоническим нарушениям и зонам используется метод ЕЭМИ, в том числе и для выявления и прогноза зон, склонных или опасных по горным ударам, как это было при строительстве Северомуйского тоннеля.

Метод ЕЭМИ используется также при оценке активности (устойчивости) потенциально опасных оползневых дислокаций, находящихся в районе подземных сооружений.

В случае если строительство нового подземного объекта ведется буровзрывным способом рядом со старым или в районе других существующих объектов на поверхности, то для контроля воздействий взрывов на их конструкции для обеспечения сохранности используется сейсмический метод, позволяющий оценить превышение скорости смещения частиц грунта относительно некоторого критерияльного, полученного расчетным путем, значения для данных конкретных геологических условий. При превышении этого порога уменьшают вес зарядов ВВ. Контроль за фактическими значениями скорости смещений частиц осуществляется на каждом цикле взрывания с помощью специ-

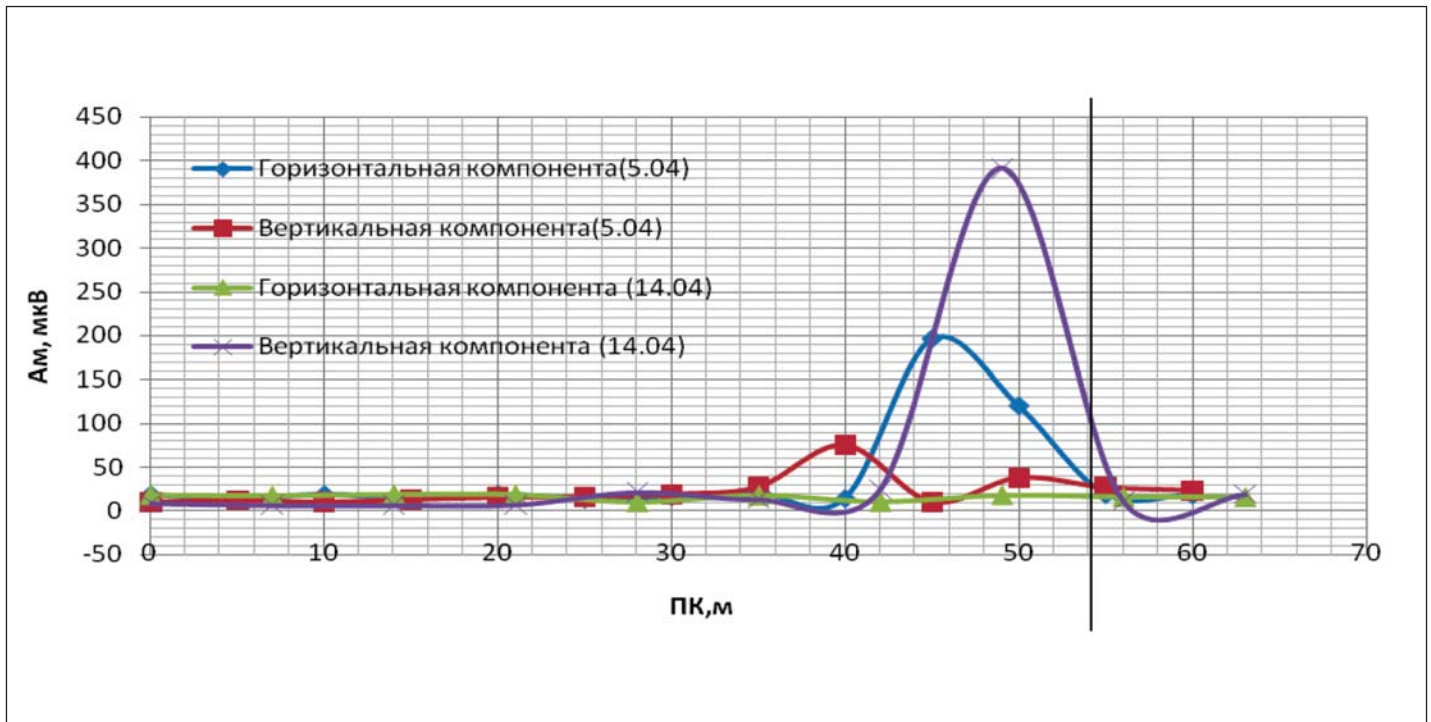


Рис. 4. График изменения параметра Ам поля ЭМИ на поверхности по профилю № 5 над тоннелем № 8 СКЖД при контроле геодинамической активности оползня (пикет 0 м находится на вершине горы, а на интервале 50–54 м появляется граница отрыва оползня)

ально разработанного для такой цели прибора-индикатора величины смещений частиц грунта от действия взрыва.

В процессе стандартных изыскательских работ детальное изучение состояния и свойств горного массива, особенно, в ближней зоне к подземным сооружениям при субвертикальных структурах, практически невозможно. Поэтому уже в процессе подземных горных работ проводятся дополнительные геофизические исследования, уточняющие данные стандартных изысканий, что дает возможность своевременно скорректировать, например, технологию проходки и расчеты крепей.

Контроль геодинамической активности и обводненности горного массива из забоев тоннелей осуществляется с целью обеспечения, прежде всего, безопасности горных работ. Это вызвано тем, что подземные сооружения и, особенно, транспортные тоннели, как правило, строятся и эксплуатируются в особо сложных геологических, гидрогеологических и сейсмологических условиях, т. е. в условиях постоянно меняющихся во времени активных геомеханических и геодинамических процессов в горном массиве, обусловленных сначала (перед началом строительства) естественными (природными) причинами, а затем (во время строительства и эксплуатации) – ими же и техногенными причинами совместно. Поэтому такой контроль позволяет следить за подобными изменениями и предусматривать меры по обеспечению безопасности работ, например, по усилению временной крепи в наиболее геодинамически опасных зонах.

На стадии эксплуатации подземных сооружений геофизические методы используются в единой системе геотехнического мо-

нитинга, в который, кроме геофизических, входят методы контроля напряжений в конструкциях обделки от статических воздействий и гидростатического давления на обделку тоннеля. Как правило, вся подсистема геотехнического мониторинга является стационарной и постоянно действующей и входит в общую систему АСУ ТП тоннеля.

Накопленный опыт применения геофизических методов дает основание для обоснованного включения их в состав комплексного горнотехнического мониторинга промышленной и экологической безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений наряду с давно апробованными и широко применяемыми (геодезическо-маркшейдерская съемка, гидростатические наблюдения, контроль деформаций конструкций, инженерно-экологических наблюдения и пр.).

Геоэкологические и аэрологические исследования и мониторинг проводятся с целью обеспечения промышленной и экологической безопасности в период строительства и эксплуатации тоннелей и других подземных сооружений. В натуральных условиях ведется контроль температуры и состава атмосферного воздуха и воздуха в тоннелях. Контроль загрязнения воды начинается непосредственно в местах ее выхода в тоннелях и по пути поступления в постоянные русла рек. Экологические требования к загрязнению воздушной среды и воды очень жесткие, поэтому пробы отбираются регулярно.

В результате лабораторных анализов проб воды и воздуха в случае превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе и/или воде выдаются предписания для проведения мероприятий по недопущению загрязнения окружающей среды.

Все мониторинговые работы проводятся в соответствии с утверждённым в 1997 г. Госгортехнадзором России «Временным положением о горно-экологическом мониторинге», а также с утверждённым в 2009 г. Тоннельной ассоциацией России по согласованию с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ «Методическим руководством по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей».

Объектами выполняемых научно-исследовательским отделом Ленметрогипротранса обследований, изысканий и геотехнических мониторингов являлись и являются многие уже эксплуатируемые, строящиеся и реконструируемые транспортные тоннели автомобильных и железных дорог, метро, а также гидротехнические тоннели как в России, так и за рубежом. Это, в первую очередь, автодорожные и железнодорожные тоннели в рамках реализации программы возведения Олимпийских объектов в г. Сочи, все новые и реконструируемые в настоящее время тоннели Северо-Кавказской железной дороги, автодорожного обхода г. Сочи.

Среди ранее выполненных работ следует отметить железнодорожные тоннели в КНДР на участке Хасан – Раджин и в Сирии, Севанский автодорожный тоннель в Республике Армения, автодорожный тоннель в г. Уфе, тоннели и другие подземные сооружения Рогунской ГЭС в Таджикистане, Гимринский автодорожный тоннель в Дагестане, тоннели Байкало-Амурской, Восточно-Сибирской и Красноярской (на линии Абакан – Тайшет) железных дорог.

Особое внимание всегда уделяется объектам Санкт-Петербургского метрополитена. 

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ОБДЕЛКА – МАССИВ» В СОСТАВЕ ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА



К. П. Безродный, д. т. н., М. О. Лебедев, к. т. н., ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Институтом «Ленметрогипротранс» ведутся исследования напряженно-деформированного состояния системы «обделка – массив» подземных сооружений различного назначения. Наибольшее количество исследований выполняется в Санкт-Петербургском метрополитене и в транспортных тоннелях (автомобильных и железнодорожных) по всей России.

Для определения напряженно-деформированного состояния используются прямые и косвенные методы исследований. К прямым методам относится применение датчиков (струнных или резисторных) в качестве накладных или закладных в конструкциях крепей и обделок в сочетании с геодезическими приборами для определения конвергенции внутреннего контура, а также глубинных экстензометров для установления влияния технологии строительства на качественное и количественное деформирование вмещающего массива. В качестве косвенного применяется метод разгрузки для определения напряженного состояния обделки при оценке ее несущей способности и коэффициента запаса прочности.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное использование датчиков (деформометров) внутри конструкций (рис. 1а) и измерение деформаций внутреннего контура, начиная с момента их возведения.

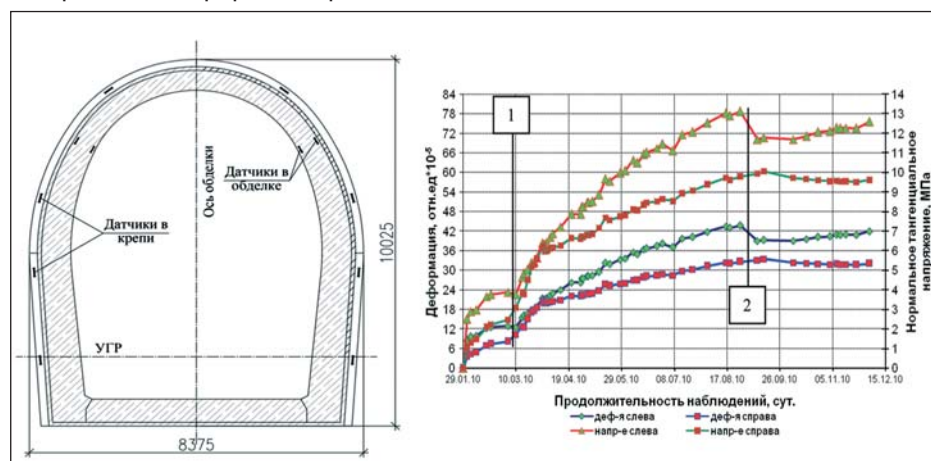
С учетом технологии строительства можно контролировать качественное и количественное изменение напряженно-деформированного состояния крепи на всех этапах

раскрытия тоннеля на полное сечение (рис. 1б). Сопоставление величин напряжений в крепи с деформациями внутреннего контура для конкретного сечения дает возможность с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только контролем деформаций внутреннего контура. Для достоверного и достаточного определения несущей способности крепи по трассе тоннеля данным способом, датчиками необходимо оснащать все литологические разности, пересекаемые тоннелем, а также тектонически нарушенные участки.

Практика проходки тоннелей в условиях Северного Кавказа свидетельствует о значительной роли геологического строения мас-

сива на устойчивость тоннеля. Наибольшую сложность оказывает горный массив, представленный аргиллитами. При его замачивании происходит снижение сцепления между слоями пород (грунта). Это приводит к смещению значительных грунтовых масс и соответственно дополнительным контактным напряжениям. Подобные явления сильно проявились при проходке участков Петлевых железнодорожных тоннелей на припортовых участках и в логах (уменьшение расстояния между контуром крепи и поверхностью при изменении рельефа местности), Навагинском железнодорожном тоннеле, железнодорожном тоннеле № 1 участка Туапсе – Адлер. Это проявление сказалось на дополнительных смещениях контура, кото-

Рис. 1. Определение напряженно-деформированного состояния крепи и обделки: а – размещение струнных датчиков в крепи и обделке; б – формирование напряженного состояния крепи с учетом технологии строительства; 1 – разработка штроссовой части; 2 – возведение постоянной обделки



рое потребовало конструктивных изменений аркобетонной крепи в виде установки расстрелов при разработке нижнего уступа.

На одном из «Олимпийских» тоннелей участка Адлер – «Альпика-Сервис» строительство велось в массиве, представленном аргиллитами и осложненном тектоническим нарушением. На рис. 16 отчетливо видна реологическая составляющая формирования напряженного состояния крепи, а именно незатухающее приращение напряженного состояния вплоть до возведения постоянной обделки. Раскрытие тоннеля на полное сечение (после разработки штроссовой части) значительно увеличило скорость приращения напряжений и деформаций внутреннего контура, которые составили до 100 мкм. Разработка проекта усиления набрызг-бетонной крепи с арматурными арками дополнительно анкерной крепью позволила значительно уменьшить смещения крепи и обеспечить проектное сечение тоннеля к моменту возведения постоянной обделки.

На другом тоннеле участка Адлер – «Альпика-Сервис» работы также велись в массиве, представленном аргиллитами, но уже блочной структуры и полускальном состоянии. Напряженное состояние тяжелой аркобетонной крепи, возводимой с отставанием от забоя на 20–30 м, после ее завершения практически не изменялось. Максимальная величина сжимающих напряжений в бетоне не превышала 1 МПа. Разработка штроссовой части также не вызвала изменений в напряженном состоянии крепи. При принятой технологии строительства – нанесение на призабойном участке набрызг-бетона и установка анкерной крепи, а с отставанием на 20–30 м возведение аркобетонной крепи,

становится очевидным, что аркобетонная крепь в таких условиях является неэффективной. Тогда были разработаны рекомендации по облегчению конструкции крепи.

Весьма интересные результаты натурных исследований по закладным (струнным, резисторным и магнитоупругим) датчикам были получены на объектах Санкт-Петербургского метрополитена, которые с момента строительства отдельных участков уже продолжают более 20 лет. Основным результатом проводимых длительных исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов перегонных тоннелей и станций является установление факта качественного и количественного его изменения (рис. 2) после пуска объектов в эксплуатацию от динамического воздействия подвижного состава. Скорость приращения НДС конструктивных элементов зависит от ряда факторов – технологии проходки и возведения обделок, их конструкции, объемно-планировочного решения подземных объектов, взаимного расположения выработок и др. Результаты таких исследований и анализ полученных данных позволят на стадии разработки проекта

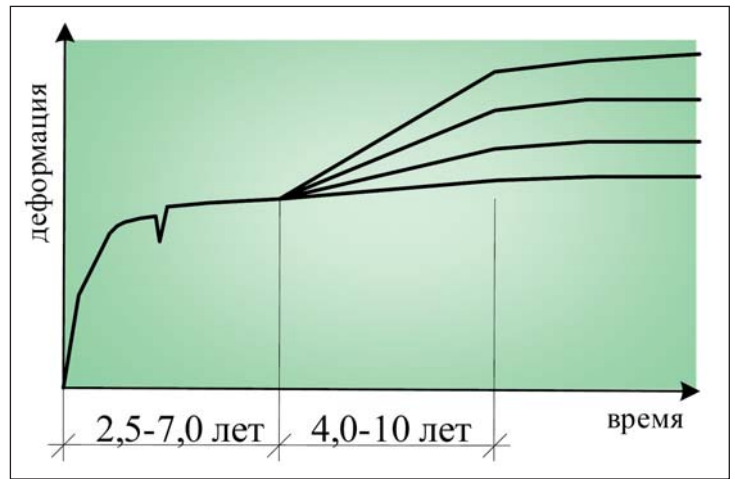
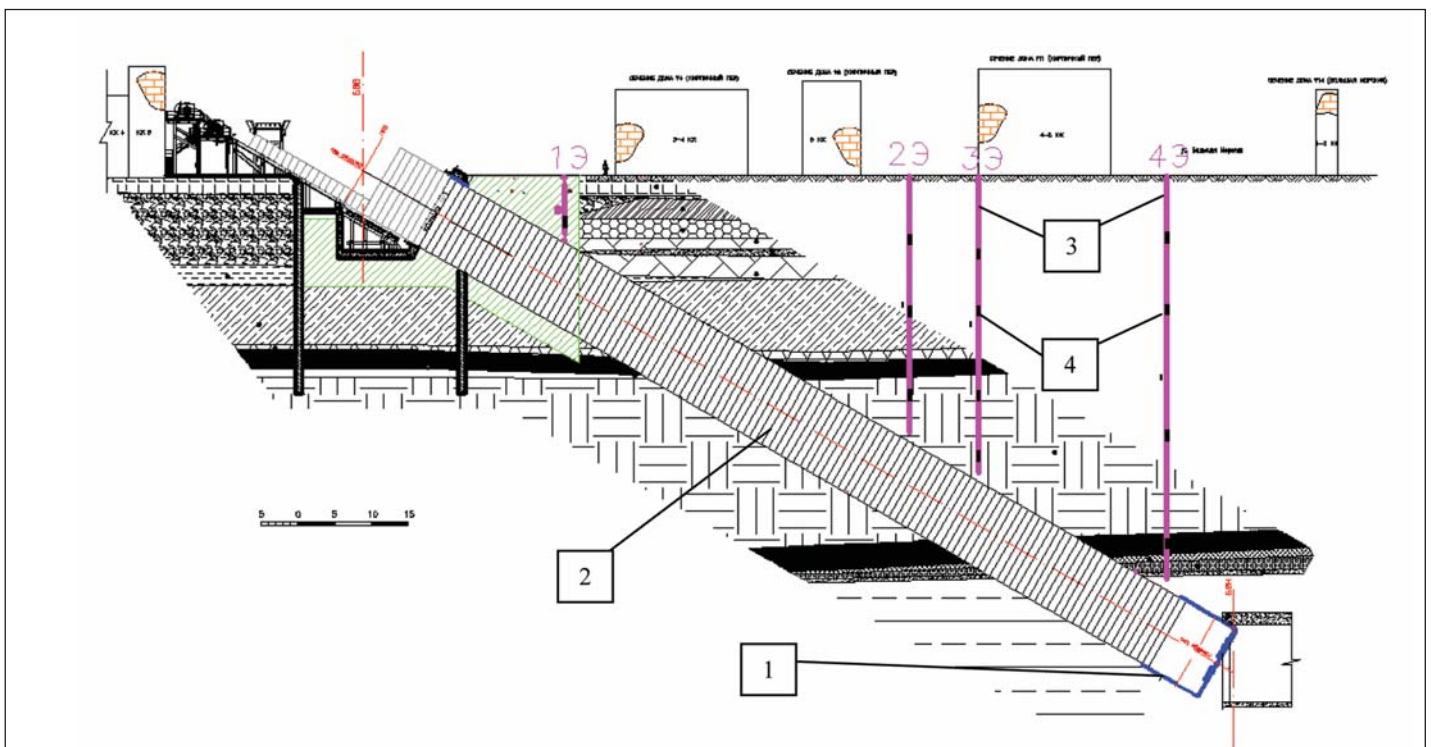


Рис. 2. Общий вид развития НДС обделок на подземных объектах Санкт-Петербургского метрополитена

учитывать имеющийся опыт эксплуатации и выполнить более точные и прогнозируемые расчеты НДС строительных конструкций.

Использование глубинных цельностержневых экстензометров фирмы «SOIL» (Англия) при проходке эскалаторного тоннеля (рис. 3) в историческом центре Санкт-Петербурга в условиях плотной городской застройки щитовым способом дало возможность решить две важных задачи. Первая техническая – оценить необходимость и время начала компенсационного нагнетания в основание зданий для предотвращения опасных деформаций. Вторая задача научная – получить закономерности развития глубинных деформаций во времени в соответствии с особенностями технологии проходки. На основании полученных закономерностей были определены основные влия-

Рис. 3. Определение деформаций массива при помощи экстензометров: 1 – проходческий щит; 2 – сборная железобетонная обделка; 3 – скважины Э1-Э4; 4 – экстензометры, установленные на разных глубинах



яющие факторы на формирование смещений массива в приконтурной зоне и разработаны рекомендации по корректировке параметров технологии строительства.

Определение напряжений в обделке косвенным способом выполняется методом частичной разгрузки конструкции, предложенной И. Матаром.

Сущность метода заключается в образовании отверстия на выбранной площадке крепи. В результате в непосредственной близости от него происходит нарушение равновесия напряженного состояния, которое восстанавливается за счет перераспределения напряжений в области влияния отверстия. По измеренным деформациям, вызванным перераспределением напряжений, определяются величина и направление главных нормальных напряжений в точке измерения.

Расчетная схема, показанная на рис. 4а, аналогична схеме, применяемой Ж. Талобром с использованием механических и индукционных тензометров. Отличие состоит в применении «маячков» для определения деформаций смещения индикатором часового типа. На площадке, предназначенной для измерений, по вершинам равнобедренного треугольника приклеиваются металлические пятки, в которых закреплены штырьки (реперы). В центре треугольника бурят разгрузочную скважину. Реперы в результате деформации материала обделки вокруг скважины перемещаются относительно центра скважины, а следовательно, и относительно друг друга на величину, зависящую от напряженного состояния материала обделки. Взаимные перемещения реперов измеряются индикатором часового типа.

Устанавливая деформации между контрольными точками во время разгрузки, можно определить величину и направление главных нормальных напряжений в точке измерения.

Определение напряжений в обделке методом частичной разгрузки выполнялось на объектах Санкт-Петербургского метрополитена, транспортных тоннелях Северного Кавказа и Гимринском автодорожном тоннеле. Рассмотрим результаты исследований на примере Гимринского тоннеля.

По трассе тоннеля во всех литологических разностях были намечены места для выявления напряжений (рис. 4б) и осуществлены работы по частичной разгрузке. По вышеизложенной методике произведены расчеты величин главных нормальных напряжений по внутреннему контуру обделки тоннеля.

Проведенные исследования напряженного состояния обделки тоннеля показали, что практически во всех сечениях, где определялись напряжения на внутреннем контуре, зафиксировано наличие растягивающих напряжений, достигающих предела прочности на растяжение и превышающих его, что является границей начала трещинообразования.

Максимальные значения сжимающих напряжений, близких к пределу прочности на

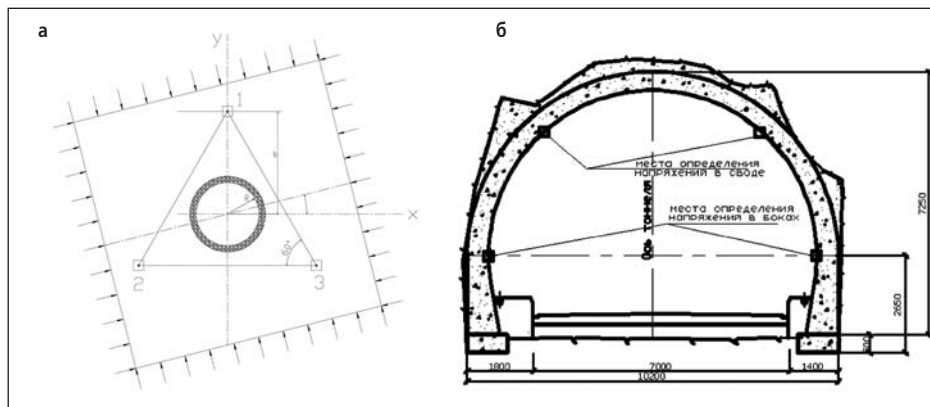


Рис. 4. Определение напряжений в обделке методом частичной разгрузки: а – расчетная схема; б – места определения напряжений по внутреннему контуру обделки тоннеля

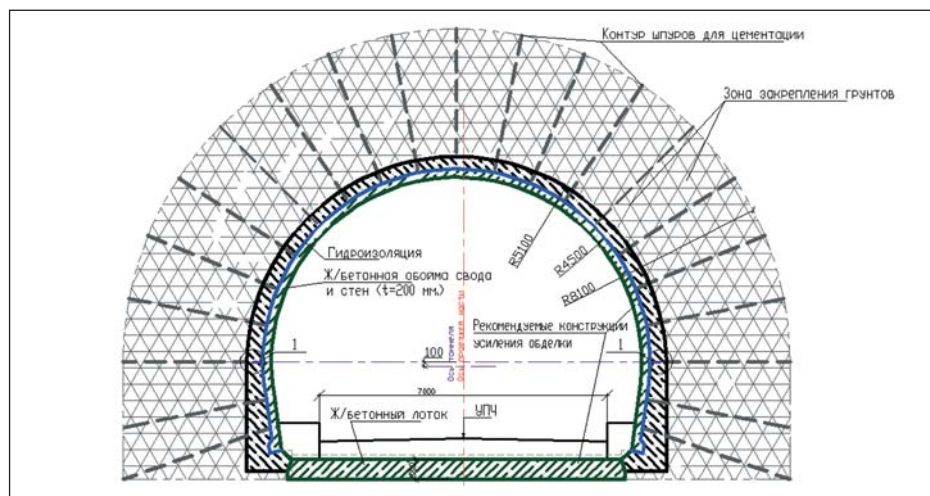


Рис. 5. Конструкция усиления обделки и закрепления приконтурного массива: 1 – продольный разрез (вдоль оси тоннеля)

сжатие, получены в местах с максимальной глубиной заложения и приуроченных к границам литолого-стратиграфических границ.

При оценке состояния обделок необходимо учитывать существенную разницу прочностных характеристик бетона по толщине обделки (отличающуюся в 1,5–2 раза), полученных в результате испытаний образцов бетона в лабораторных условиях.

Значительный разброс в отношении главных напряжений σ_1 и σ_2 на исследуемых участках объясняется не только проявлением горного давления, но и качеством укладки бетонной смеси, так как в результате лабораторных испытаний образцов бетона получена значительная разница прочностных показателей по глубине (в 1,5–2 раза).

Перечисленные результаты определения напряженного состояния обделки легли в основу статических расчетов существующей обделки и расчетов разрабатываемых конструктивных решений обделок для постройки тоннеля. Конструктивное решение для одного из участков тоннеля показано на рис. 5.

Особенностью ряда разработанных конструктивных решений является наличие продольных прорезей на глубину 2/3 от толщины обделки, заполняемых «демпферным» материалом. Данная операция позволит «снять» напряжения и уменьшить усилия в

обделке, существовавшие до начала усиления на момент достройки и возникшие в процессе упрочнения массива. «Снимаемые» напряжения и усилия за счет перераспределения далее будут восприниматься вмещающим массивом. В дальнейшем, заполненные «демпферным» материалом, продольные прорези будут выполнять роль податливых стыков и существенно снижать и перераспределять возникающие усилия в обделке при сейсмических воздействиях.

Результаты исследований напряженно-деформированного состояния системы «крепь – обделка – массив», проводимых в рамках геотехнического (горно-экологического) мониторинга или обследования состояния существующих подземных сооружений, ложатся в основу поверочных расчетов строительных конструкций для корректировки их параметров (геометрических и конструктивных) и технологии строительства, а также являются одним из важнейших параметров для снижения строительных рисков и рисков при эксплуатации.

Составление банка данных на основании проведенных исследований уже достаточно большого числа транспортных тоннелей даёт возможность оценить проектные и строительные риски, что, в свою очередь, позволяет произвести правильную оценку их страхования.

РЕГИСТРАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЯХ



А. Д. Басов, к. г.-м. н., заведующий лабораторией
К. В. Романевич, научный сотрудник, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В ходе строительства железнодорожных тоннелей Байкало-Амурской магистрали (БАМ), в том числе, самого большого и сложного по геологическим условиям Северомуйского тоннеля был разработан и внедрен метод опережающей разведки, основанный на регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), которое возникает при деформировании и разрушении горных пород в опорной зоне забоя. Регистрация ЕЭМИ использовалась для обнаружения зон разломов впереди забоя и оценки устойчивости подземных выработок. По результатам внедрения этого метода было получено авторское свидетельство № 1679445 «Способ обнаружения зон разломов впереди забоя подземной выработки».

Следующий этап применения регистрации ЕЭМИ при прокладке тоннелей связан с началом транспортного строительства в Сочи, в преддверии XXII зимних Олимпийских игр. С целью снижения вредного влияния горных работ на окружающую среду, обеспечения промышленной безопасности при сооружении и эксплуатации транспортных тоннелей здесь внедрен комплексный горно-экологический мониторинг.

Основной объем работ по мониторингу, выполняемому научно-исследовательским отделом ОАО «ЛМГТ», приходится на геомеханические наблюдения. Проводимые при строительстве натурные наблюдения ставят своей целью комплексную оценку состояния системы «тоннель – вмещающий массив». Кроме таких показателей, как устойчивость призабойной части, прочность бетона обделки, деформационно-прочностные харак-

теристики грунта, контролируются параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) крепей и обделок, для этого производится установка датчиков в крепи и обделки. Полученные значения деформаций и рассчитанные величины напряжений сравниваются с критериальными, либо с пределом прочности материала крепи (обделки) для принятия решения, а в случае необходимости, об усилении крепи или массива вблизи тоннеля.

В комплексе с геомеханическими наблюдениями проводятся геофизические исследования. Одним из методов таких исследований при проведении горно-экологического мониторинга является регистрация ЕЭМИ. Использование этого неразрушающего экспресс-метода оценки НДС позволяет оперативно получать информацию о геодинамических процессах в забоях (рис. 1) в заобделочном пространстве и крепях тоннелей. Оценки изменения НДС вмещающего массива и крепей тоннеля при строительстве транспортных тоннелей методом ЕЭМИ, как показывают результаты проведенных исследований, представляют перспективными и демонстрируют новую сферу применения регистрации ЕЭМИ.

Оценка существующей геодинамической активности горного массива и его природного напряженно-деформированного состояния с целью прогнозирования устойчивости вмещающих тоннель пород производится профилированием с регистрацией поля естественного электромагнитного излучения горного массива. Также осуществляется регистрация вариаций поля ЕЭМИ с целью наблюдения за развитием геодинамиче-

ских процессов во времени в обнаруженных ранее зонах разупрочнений. При наблюдениях за изменением поля ЕЭМИ, изучается аномальное поведение магнитной составляющей естественного электромагнитного излучения горных пород в местах изменения геомеханических напряжений в результате действия горного давления, микроподвижек по контактам блоков (поверхностям скольжения), например, в зонах разломов.

На рис. 2 показаны временные графики средних значений параметра A_m поля ЕЭМИ и деформаций. Графики построены по данным одновременных измерений на замерных станциях деформаций первого автодорожного тоннеля совмещенной дороги Adler – «Альпика-Сервис» со стороны северного портала. Опытные участки определения НДС крепи в натуральных условиях оснащены датчиками ТБ-200. Струнные датчики линейных деформаций ТБ-200 представляют собой струну, закрепленную между двумя опорными шайбами внутри металлической тонкостенной трубы. Измерения проводятся переносным цифровым периодометром ПЦП-1. Наблюдаемым параметром является период колебания струны в микросекундах, который пересчитывается в деформации и напряжения.

Замеры ЕЭМИ проводились у стенок тоннеля вблизи датчиков-деформометров. Стрелками показаны всплески ЕЭМИ при соответствующих значениях напряжений. Хотя ряды значений по оси времен получали через неравные интервалы времени и есть пропуски, можно заметить, что после всплеска излучения ЕЭМИ сразу или через некоторое время происходит изменение напряжений.



Рис. 1. Регистрация ЕЭМИ в забое строящегося автодорожного тоннеля № 1 на трассе Адлер – «Альпика-Сервис»

Принимая за фоновые значения Ам до 50 мкВ (в данном случае) все значения выше фона могут быть связаны с деформациями и изменениями напряженного состояния. Важно, что всплески ЕЭМИ происходят одновременно или несколько раньше деформаций. Подобные прогностические свойства ЕЭМИ проявляются как при относительно небольших, так и при существенных изменениях напряженного состояния пород.

На данный момент регистрация ЕЭМИ является косвенным методом исследования НДС и с его помощью нельзя напрямую оценить величину напряжений - возможен только качественный анализ данных. В связи с этим НИО ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» ведутся научные эксперименты по совместному исследованию геоэлектromагнитных и геомеханических процессов при строительстве транспортных тоннелей в Сочи. Эти исследования имеют целью переход от качественного анализа НДС массива с помощью регистрации ЕЭМИ к количественным прогностическим показателям. Это позволит проводить диагностику предразрушающего состояния участков массивов и контролировать динамику процессов проявления горного давления. Предстоит изучать изменения в структуре сигналов электромагнитного излучения на различных стадиях нагружения массива.

Приведенный пример регистрации ЕЭМИ в строящемся тоннеле показывает перспективность его использования для оперативного неразрушающего контроля и прогноза изменений НДС. Дальнейшее развитие и совершенствование аппаратуры, внедрение современных способов обработки данных ЕЭМИ позволят применять регистрацию ЕЭМИ для количественных экспресс-оценок НДС массива горных пород и обделок тоннелей.

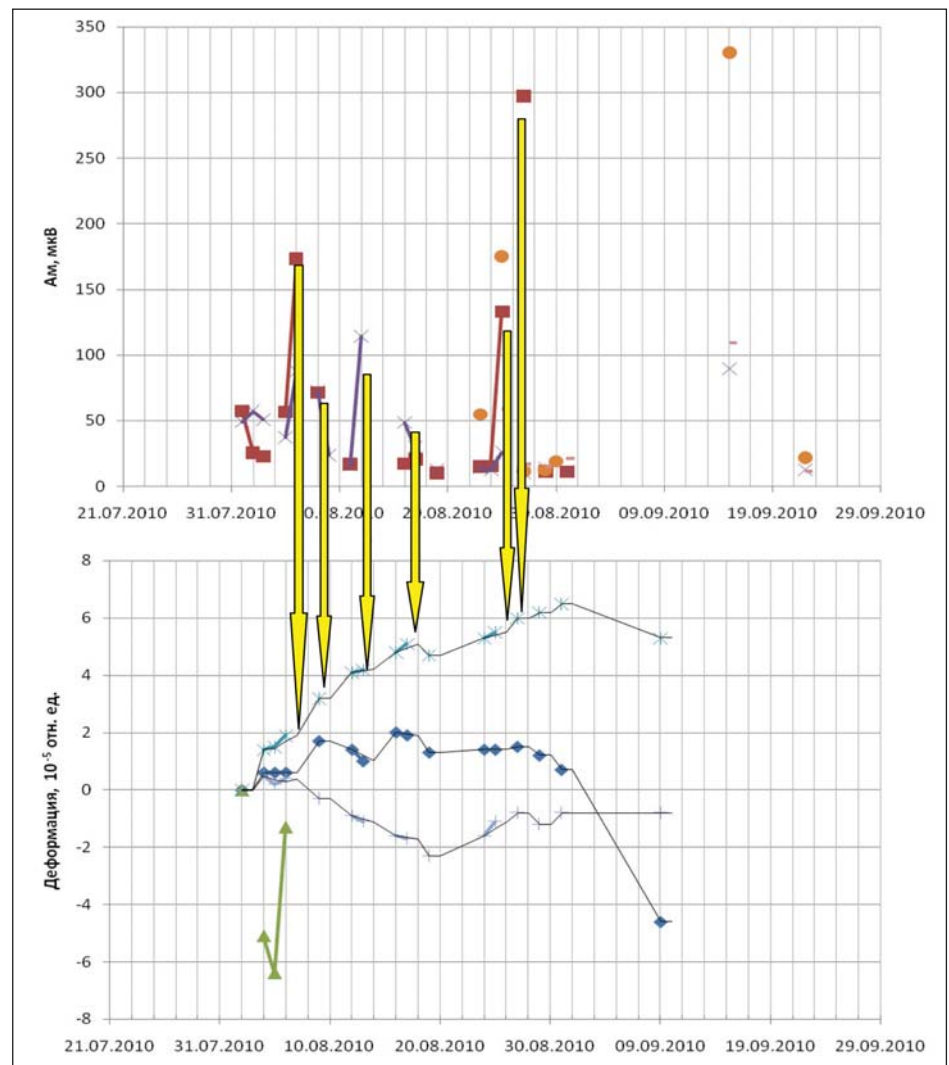


Рис. 2. Результаты одновременных определений параметров поля ЕЭМИ и деформаций в автодорожном тоннеле № 1 на трассе Адлер – «Альпика-Сервис» (замерные станции деформаций на ПК 135+22,5 и 135+82,5) в июле-сентябре 2010 г.

ОТ НАБЛЮДЕНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

С. Г. Гендлер, д. т. н., зав. лабораторией геоэкологии и аэрологии
 Е. И. Домпальм, к. т. н., старший научный сотрудник ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»



Сотрудники лаборатории

Экологический мониторинг является составной частью горно-экологического, необходимость и регламент которого определены «Временным положением о горно-экологическом мониторинге», утвержденным в 1997 г. первым заместителем начальника Госгортехнадзора России, первым заместителем министра природных ресурсов Российской Федерации и заместителем председателя Госкомэкологии России.

Начиная с 2007 г. лабораторией геоэкологии и аэрологии, входящей в состав научно-исследовательского отдела ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» осуществляется экологический мониторинг при строительстве транспортных тоннелей. Основные положения по процедурам его проведения обобщены в «Методическом руководстве по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей», разработанном институтом «Ленметрогипротранс» совместно с УРАН ИПКОН РАН, согласованном Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ и утвержденном Тоннельной ассоциацией России в 2009 г.

Строительство и последующая эксплуатация транспортных тоннелей сопряжены с развитием негативных техногенных процессов в окружающей природной среде, которые обусловлены как влиянием элементов техносферы (машины, оборудование, сооружения и т. п.), так и действиями человека.

Наиболее характерные отрицательные явления в окружающей среде, проявляющиеся при строительстве, представлены на рис. 1.

Задачами горно-экологического мониторинга являются наблюдение и оценка текущего состояния природно-технических систем, прогноз и разработка превентивных мер по снижению уровней негативного воздействия. Объекты горно-экологического мониторинга представлены на рис. 2.

В 2007–2011 гг. сотрудниками лаборатории проведены наблюдения за состоянием

окружающей среды при сооружении ряда железнодорожных тоннелей на Северокавказской железной дороге: Большого Новороссийского, тоннеля № 1 участка Туапсе – Adler, Навагинского железнодорожного тоннеля на трассе Армавир – Туапсе; Малого Новороссийского тоннеля, тоннеля № 6 бис на участке Сочи – Adler на перегоне Сочи – Мацеста.

Особое значение имеют осуществляемые в настоящее время наблюдения за состоянием окружающей среды при сооружении транспортных тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге Adler – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» (железнодорожные тоннели № 1–6; автодорожные тоннели № 1–3). Это связано с тем, что, начиная с 2008 г., г. Сочи был выбран столицей зимних Олимпийских игр 2014 г. Между тем, согласно требованиям Международного олимпийского комитета, страны, принимающие игры, должны осуществлять обязательный контроль состояния воздуха, воды и почвы в районе проведения соревнований. Кроме того,



Рис. 1. Схема изменений в окружающей среде при производстве горных работ

трассы тоннелей проходят по территории заповедника «Западный Кавказ», который имеет статус всемирного природного наследия ЮНЕСКО. В этой связи, мониторинг окружающей среды является составной частью правительственной программы по экологическому сопровождению подготовки и проведения игр в г. Сочи.

Представление о возможных масштабах воздействия на окружающую среду при сооружении транспортных тоннелей дает рис. 3, на котором показана строительная



Рис. 2. Объекты горно-экологического мониторинга



Рис. 3. Строительная площадка на северном портале автодорожного тоннеля № 3 и сервисного тоннеля



Рис. 4. Установка датчиков, регистрирующих уровень загрязнения атмосферного воздуха



Рис. 5. Измерения термодинамических и химических параметров воздуха в выработках

площадка автодорожного тоннеля № 3 с прилегающей территорией.

На рис. 4 представлены работы по установке датчиков, регистрирующих уровень загрязнения атмосферного воздуха на прилегающей к стройплощадке территории, что подтверждает ее статус особо охраняемого природного объекта. Экологический мониторинг при строительстве транспортных тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» осуществляется, начиная с 2009 г., ежеквартально. Принятая частота проведения замеров является достаточной для эффективного контроля состояния окружающей среды. Она позволяет выделить основные производственные процессы, оказывающие на нее влияние.

В случае необходимости, при отклонении её фактических экологических параметров от нормативных, разрабатываются рекомендации по снижению экологической нагрузки на те компоненты окружающей среды, для которых уровень воздействия превышает допустимые значения. Для этого, одновременно с наблюдениями за состоянием окружающей среды осуществляются измерения термодинамических и химических параметров воздуш-

ной среды непосредственно в тоннельных выработках (рис. 5), химического состава дренажной и сточной воды (рис. 6), извлекаемых при проходке тоннеля пород.

Полученные данные позволяют оценить эффективность применения дополнительных мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду. Например, размещение в забоях выработок установок для очистки воздуха от пыли, применение очистки сточных вод, увеличение количества подаваемого воздуха и т. п.

Основные результаты проведения экологического мониторинга продемонстрируем на примере первого тоннельного комплекса, строительство которого началось раньше других и база данных наблюдений наиболее обширна.

Особенностью сооружения тоннельного комплекса № 1 является использование для проходки выработок различных технологий: тоннелепроходческого щита, проходче-



Рис. 6. Отбор проб сточной воды из автодорожного тоннеля № 3

ского комбайна, буровзрывных работ. Так, со стороны южного портала проходка автодорожного и железнодорожного тоннелей осуществлялась стреловыми комбайнами Alpine Miner ATM 75 с погрузкой грунта в подземные автопоезда МоА3 7405 или погрузочно-доставочные машины. В то же время сооружение штольни велось с помощью механизированного тоннелепроходческого комплекса RME 232 фирмы «Lovat». Проходка автодорожного тоннеля в породах с коэффи-

циентом крепости более 8–10 выполнялась с применением буровзрывной технологии.

При проветривании железнодорожного и автодорожного тоннелей до момента их сбойки использовалась нагнетательная схема вентиляции. После сбойки этих выработок в каждой из них возводилась вентиляционная переемычка, разделяющая их на два обособленных участка, которые также проветривались по нагнетательной схеме. В период обустройства пройденных выработок их проветривание осуществлялось с помощью вентилятора, установленного в вентиляционной переемычке и подающего воздух в зависимости от направления действия естественной тяги к северному или южному порталам.

Методика проведения экологического мониторинга в районе строительства первого тоннельного комплекса, в том числе и схема отбора проб для анализа, соответствовала требованиям, сформулированным в «Методическом руководстве по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей».

С учетом опыта работ на идентичных объектах (сооружение Большого Новороссийского, Малого Новороссийского и Навагинского тоннелей) были определены следующие основные контрольные точки отбора проб: на выходе из порталов; непосредственно в тоннеле; на границах строительных площадок; в жилетных зонах; при необходимости в створах, прилегающих к строительным площадкам водных объектов.

В указанных контрольных точках проводились измерения:

- показателя кислотности (рН) и биохимического потребления кислорода (БПК₅), концентрации взвешенных веществ, тяжелых металлов (меди, ртути, железа, свинца, цинка, кадмия), нефтепродуктов в воде, дренирующей из горного массива, сточных водах, удаляемых из тоннеля, штольни и предпортальной строительной площадки;
- содержания тяжелых металлов (меди, ртути, железа, свинца, цинка, кадмия, мышьяка, марганца, никеля), а также фенолов в породах, извлекаемых в процессе проходки выработок;
- наличия загрязняющих веществ (взвешенные частицы, диоксида азота, оксида углерода, диоксида серы) в атмосферном воздухе и воздушной среде сооружаемых выработок.

Анализ данных измерений позволил выявить некоторые закономерности, определяющие динамику экологической нагрузки в период проходки тоннельного комплекса № 1. Следует отметить, что эти закономерности имеют общий характер и прослеживаются для других тоннельных комплексов.

Установлено, что степень негативного воздействия строительства на различные элементы биосферы зависит от применяемой технологии проходки тоннелей. Общим при использовании всех вышеперечисленных технологий является то, что уровень негативного воздействия на окружающую среду (ОС) связан, в основном, с погрузочно-доставоч-

ными операциями, вызывающими загрязнение тоннельного воздуха, продуктами работы двигателей внутреннего сгорания.

В случае комбайновой проходки также происходит образование при разрушении горных пород аэрозолей фиброгенного действия (пыли), которые при отсутствии эффективных методов пылеподавления, попадают в тоннельный воздух и выбрасываются на поверхность.

Применение буровзрывной технологии приводит к сейсмическому воздействию на горный массив, окружающей выработки, что может спровоцировать развитие таких природных явлений как оползни, обвалы и прочее или негативно сказаться на состоянии ихтиофауны. Кроме того, происходит выделение в окружающую среду продуктов химических реакций, протекающих при разложении взрывчатых веществ.

Другой особенностью работ по сооружению транспортных тоннелей является неравномерный характер экологической нагрузки на окружающую среду, в частности на атмосферный воздух. Минимальная в начальный период строительства, затем по мере увеличения протяженности выработок и повышения интенсивности проходческих работ она увеличивается. После завершения основного этапа работ, во время обустройства тоннелей экологическая нагрузка на ОС вновь снижается (рис. 7, 8, 9).

Так, если содержание оксида углерода в атмосферном воздухе на всем протяжении периода строительства не превышало предельно-допустимых концентраций (ПДК), то содержание диоксида серы и взвешенных частиц в течение приблизительно пяти месяцев до сбойки выработок и двух месяцев после нее оказывалось выше ПДК.

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

Говоря о специфике оценки воздействия возводимых тоннелей на ОС и разработку

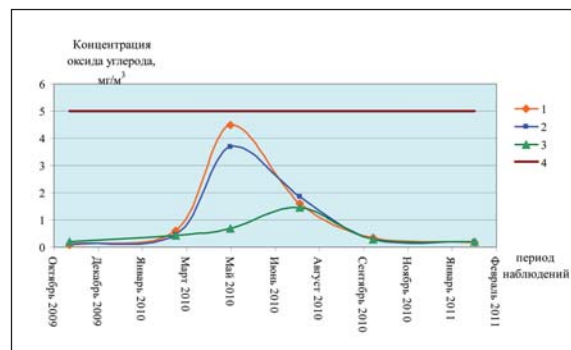


Рис. 7. Содержание оксида углерода в тоннельном и атмосферном воздухе на участке от забоя до границы строительной площадки: 1 – в забое железнодорожного тоннеля; 2 – на выходе из портала; 3 – в 50 м от портала; 4 – максимально разовая ПДК оксида углерода

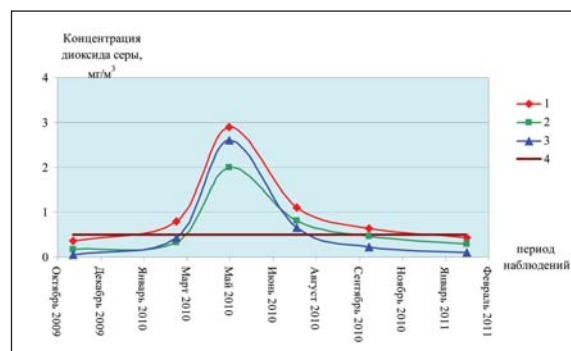


Рис. 8. Содержание диоксида серы в тоннельном и атмосферном воздухе на участке от забоя до границы строительной площадки: 1 – в забое железнодорожного тоннеля; 2 – на выходе из портала; 3 – в 50 м от портала; 4 – максимально разовая ПДК диоксида серы

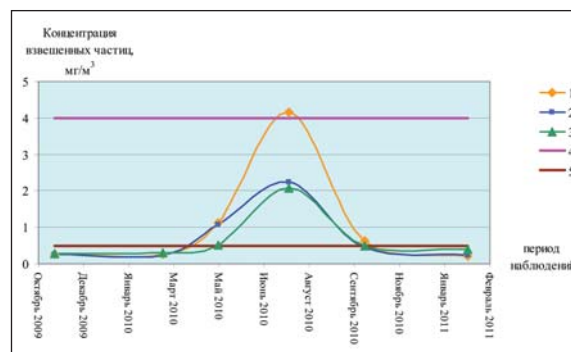


Рис. 9. Содержание взвешенных частиц в тоннельном и атмосферном воздухе на участке от забоя до границы строительной площадки: 1 – в забое железнодорожного тоннеля; 2 – на выходе из портала; 3 – в 50 м от портала; 4, 5 – соответственно ПДК взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны и максимально разовая ПДК

мероприятий по её снижению, следует также отметить и значительное различие между нормативными значениями ПДК загрязняющих веществ для воздуха рабочей зоны и максимальных разовых концентраций (ПДК_{мр}), используемых при анализе влияния на ОС. Разница между этими величинами может отличаться на порядок. Например, для диоксида серы ПДК для рабочей зоны составляет 10 мг/м³. В то же время максимальное разовое значение концентрации диоксида азота равно 0,5 мг/м³. Разница между этими нормативными значениями становит-

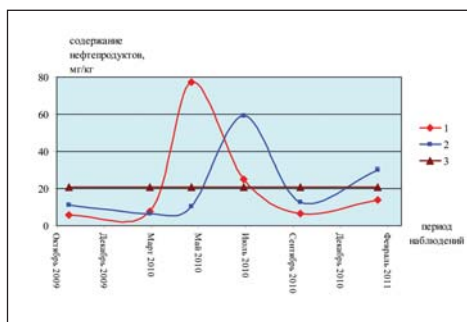


Рис. 10. Содержание нефтепродуктов в почво-грунтах на припортальных площадках железнодорожного тоннеля № 1: 1 – южный портал; 2 – северный портал; 3 – фоновое содержание

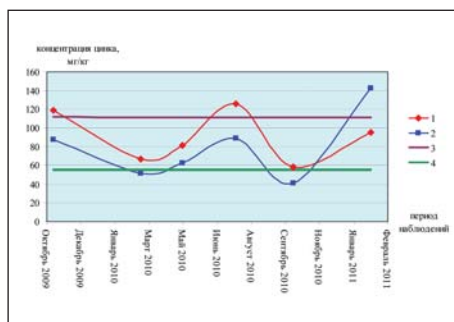


Рис. 11. Концентрация свинца в почво-грунтах на припортальных площадках железнодорожного тоннеля № 1: 1 – южный портал; 2 – северный портал; 3 – фоновое содержание; 4 – ПДК

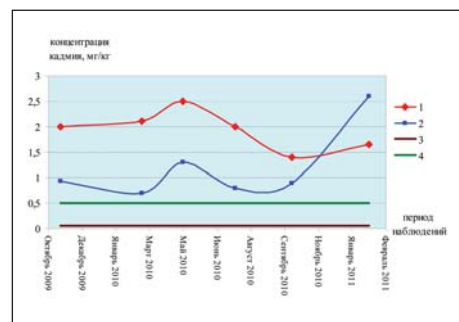


Рис. 12. Концентрация кадмия в почво-грунтах на припортальных площадках железнодорожного тоннеля № 1: 1 – южный портал; 2 – северный портал; 3 – фоновое содержание; 4 – ПДК

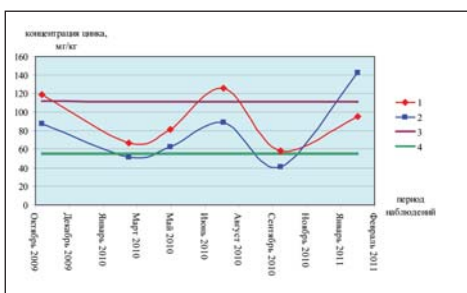


Рис. 13. Концентрация цинка в почво-грунтах на припортальных площадках железнодорожного тоннеля № 1: 1 – южный портал; 2 – северный портал; 3 – фоновое содержание; 4 – ПДК

ся еще больше в воздухе населённых пунктов с более 200 тыс. жителей и в курортных зонах, где с учётом рассеивания концентрации вредных веществ не должны превышать 80 % от ПДК_{мр}.

Таким образом, конечная величина загрязнения тоннельного воздуха должна выбираться с учетом последующей нормализации воздействия на атмосферный воздух.

Часть загрязняющих веществ, выбрасываемых на поверхность с тоннельным воздухом, осаждаются на поверхности земли и аккумулируются в почвах, окружающих строительные площадки. При этом оказывается, что на динамику содержания нефтепродуктов и тяжёлых металлов в почвах влияют не только технологические процессы по сооружению тоннеля, но и природные факторы, связанные с чередованием сухих и дождливых периодов. В сухие периоды происходит накопление нефтепродуктов и тяжёлых металлов, а во время дождей их вымывание из почв. Влияние этих факторов приводит к тому, что зависимости концентраций нефтепродуктов и тяжёлых металлов в почвах имеют явно выраженный пикообразный характер с максимальными значениями, соответствующими концу сухого периода (рис. 10, 11, 12, 13).

В процессе проходки тоннельных выработок образуется значительное количество разрушенных пород. Для решения вопроса о выборе мест их складирования необходима информация о содержании тяжёлых металлов в извлекаемой породе. Результаты такого анализа для тоннельного комплекса № 1 приведены на рис. 14, из которого сле-

дует, что содержание многих тяжёлых металлов в извлекаемых породах (фоновое содержание) превосходит нормативные значения ПДК для почвогрунтов.

В этой связи выбор мест размещения извлекаемой при проходке породы был осуществлен на основе анализа возможного воздействия вымываемых из отвалов складированных пород солей тяжёлых металлов на компоненты ОС (водные объекты, поверхностные и подземные воды и т. п.).

Одновременно с измерениями фонового содержания тяжёлых металлов были осуществлены аналогичные измерения для дренажных и сточных вод. Их результаты приведены на рис. 15.

Данные на рис. 15 также свидетельствуют о превышении содержания тяжёлых металлов норм ПДК.

Вместе с тем, набор металлов, в отношении которых установлены превышения, отличается от металлов в извлекаемой породе. Одной из причин этого является влияние на состав воды технологических процессов.

Результаты работ по экологическому мониторингу при сооружении транспортных тоннелей на совмещённой дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» свидетельствуют об определенном негативном влиянии строительных работ на все компоненты окружающей среды. Несмотря на то, что это влияние носит временный характер, ограниченный периодом строительства, его учет необходим для разработки мероприятия по снижению техногенной на-

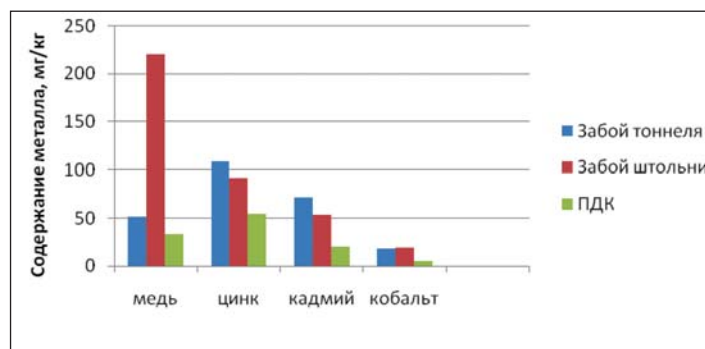


Рис. 14. Содержание металлов в породах, извлекаемых при проходке выработок

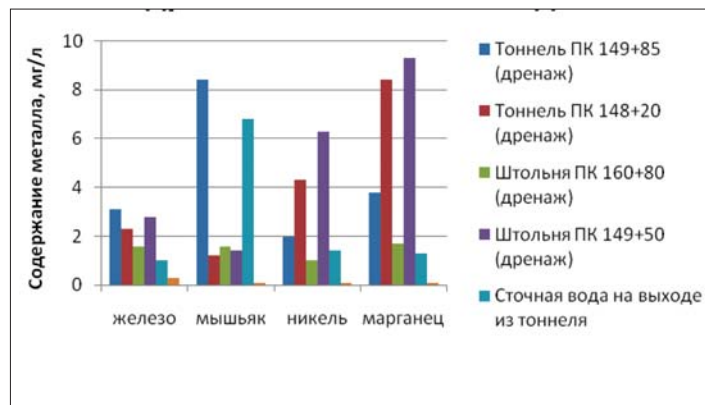


Рис. 15. Содержание тяжёлых металлов в дренажной и сточной воде

грузки на ОС при проходке новых тоннелей в таком уникальном природном районе, как является г. Сочи.

Таким образом, геоэкологический мониторинг является ключевым этапом системы управления техногенным воздействием на ОС при сооружении транспортных тоннелей. От того насколько измерения, выполненные в процессе горно-экологического мониторинга, отражают реальную ситуацию на всех этапах строительства в конечном итоге будет зависеть и оценка эффективности реализации мероприятий по охране ОС. Только создание совершенной обратной связи в системе: геоэкологический мониторинг – природоохранные мероприятия – геоэкологический мониторинг приведет к возможности получения достоверной оценки степени обратимости или необратимости техногенного воздействия на окружающую среду.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ РАБОТ – НАДЕЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ



А. Г. Мацегора, к. т. н., старший научный сотрудник ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В статье приведены эффективные способы стабилизации дезинтегрированных обводненных неустойчивых грунтов в сложных инженерно-геологических условиях: защитный экран из труб, инъекционные и взрыво-инъекционные способы закрепления грунтов, струйные технологии, комбинированная технология с применением струйных технологий и способа замораживания пород, которые нашли широкое применение в практике проектирования ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс».

Работы по улучшению свойств горных пород путем воздействия на них различных искусственных способов ведутся с начала позапрошлого века.

С тех пор, развиваясь и совершенствуясь, они вошли в повседневную практику проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта зданий и сооружений различного функционального назначения – от жилых зданий до крупных подземных объектов типа горных транспортных тоннелей, подземных галерей, подземных машинных залов и плотин при сооружении гидроэлектростанций.

Строительство подземных объектов в сложных инженерно-геологических условиях, как правило, сопровождается различными осложнениями, с которыми приходится сталкиваться и преодолевать их строителям (осыпями и обвалами стенок котлованов, прорывами в подземные выработки водно-грунтовых масс, деформациями ограждающих конструкций – шпунтовых стен, грунтоцементных и свайных ограждений и т. п.). Без применения дополнительных специальных мероприятий ведение горнопроходческих работ практически невозможно.

Грунтовые массивы, где необходимо использование спецспособов, представлены,

как правило, следующими основными разновидностями:

- трещиноватые обводненные горные породы с высокими напорами подземных вод;
- раздробленные до дресвы, песка и глины обводненные, слабосвязанные, неустойчивые скальные горные породы;
- гравий, галька, песок, супеси, суглинки обводненные, неустойчивые, зачастую обладающие тиксотропными свойствами;
- искусственные среды: каменная, кирпичная кладки, бетон, железобетон.

К основным видам спецработ, разработанными в прошлом и применяемым при проектировании в настоящее время ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», следует отнести: защитный экран из труб, замораживание грунтов, стабилизация грунтов с применением инъекционных технологий, взрывоинъекционное упрочнение грунтов, укрепление грунтов с помощью струйных технологий (Jet Grouting), комбинированный способ с использованием технологии Jet Grouting и искусственного замораживания грунтов.

Защитный экран из труб применяется в случаях, когда грунты представлены перемежающимися прослойками раздробленных до дресвы пород, а также содержащих сред-

не- и крупнообломочные геологические разновидности. В этом случае успешно применяются перфорированные трубы с последующей связывающей грунты цементацией последних. Условием успешного внедрения этого метода стабилизации грунтов является их низкая обводненность с незначительными напорами подземных вод. Способ довольно широко применялся при проектировании и строительстве тоннелей БАМа: Байкальско-го, Северомуйского, Кодарского.

Искусственное замораживание грунтов используют в том случае, когда проходку подземных выработок необходимо вести в диспергированных обводненных малопроницаемых грунтах с высокими значениями напоров подземных вод и обладающих пльвунными свойствами. В таких условиях применяют в зависимости от инженерно-геологических и технических условий либо низкотемпературное замораживание грунтов жидким азотом, либо рассольное. Первое целесообразно также при возникновении аварийных ситуаций при строительстве, капитальном ремонте и реконструкции различных зданий и сооружений.

Искусственное замораживание грунтов широко применяется при проектировании и



строительстве основных и вспомогательных выработок метрополитенов, сооружении тоннелей различного назначения.

В частности, как рассольное, так и замораживание грунтов жидким азотом использовано при проектировании и строительстве тоннелей метрополитена Санкт-Петербурга (Ленинграда) на перегоне между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества». Рассольное замораживание грунтов осуществлено перед проходкой перегонных тоннелей, а жидким азотом – в процессе сооружения тоннелей для ликвидации возникшей аварийной ситуации, сопровождавшейся прорывом водогрунтовых масс в строящийся тоннель.

Инъекционное упрочнение грунтов – наиболее представительное семейство специальных способов работ, которое использовалось и используется в настоящее время в практике проектирования новых объектов, ремонта и реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений.

Способы инъекционного упрочнения грунтов подразделяются:

по воздействию на грунты:

- инъекция в режиме пропитки;
- инъекция в режиме гидроразрыва;

по стадийности:

- одностадийная;
- многостадийная;

по времени исполнения:

- заблаговременная;
- последующая;

по применяемым инъекционным растворам:

- цементация;
- силикатизация (однорастворная, двухрастворная);
- смолизация;

по порядку обработки массива через инъекционные скважины:

- наступающими заходками;
- с использованием манжетной технологии.

Следует отметить, что упрочнение грунтов наступающими заходками было основным при сооружении тоннелей БАМа, а манжетная технология не нашла применения из-за трудностей, сопряженных с установкой манжетных колонн при высоких значениях напоров подземных вод.

Но успешно эта технология была реализована при проходке Краснополянского тоннеля на Кавказе для укрепления грунтов и в качестве противооползневого мероприятия, а также при капитальном ремонте и реконструкции зданий и сооружений в Санкт-Петербурге на следующих крупных объектах:

- сооружение станции метро «Адмиралтейская» – глубинное инъекционное компенсационное уплотнение грунтов оснований под зданиями 5, 7 по ул. Малая Морская для снижения осадок земной поверхности;

- станция метро «Новочеркасская» – инъекционное укрепление грунтов вокруг вестибюля при производстве капитального ремонта;

- станция «Сенная площадь» – стабилизация неустойчивых грунтов при ее капитальном ремонте;

- упрочнение грунтов в основании зданий и сооружений еще на более чем 40 строительных объектах Санкт-Петербурга.

При прокладке тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали сотрудниками научных, проектных, в т. ч. и ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», и строительных организаций разработан ряд новых технологий упрочнения грунтов на основе инъекционных, которые можно отнести к разряду комбинированных и приводятся ниже.

Взрывоинъекционный способ разработан и внедрен при сооружении Северомуйского железнодорожного тоннеля. Сущность его заключается в уплотнении дисперсных грунтов энергией взрыва на первоначальном этапе с образованием искусственных полостей и трещин и с последующим заполнением их инъекционным раствором. Таким образом в зоне воздействия энергии взрыва и инъекционного раствора создаются уплотненные до высокой степени зоны в грунтовом массиве с заполненными затвердевшим раствором полостями и трещинами. Недостаток способа – затруднительное применение вблизи существующих зданий и сооружений.

Инъекционный способ закрепления грунтов в комплексе с локальным дренажом подземных вод – разработан и реализован при проходке тоннелей БАМа и при строительстве метрополитена в г. Тбилиси (Грузия). Отличается тем, что после выполнения работ по инъекционному упрочнению грунтов по периметру закрепленной зоны в массиве грунта бурят по определенной, заранее рассчитанной схеме, скважины локального дренажа, выполняют контролируемое снижение в закрепленной зоне напора подземных вод до допустимых его значений и только после этого дают разрешение на дальнейшую проходку подземной выработки.

Контроль снижения напора подземных вод осуществляют по показаниям манометра, установленного на устье контрольной скважины, пробуренной по центру выработки.

Способ стабилизации грунтов с применением **силикатно-цементно-хлоркальциевой инъекционной технологии (СЦХК-технология)** сочетает в себе цементацию и силикатизацию при использовании специально разработанных рецептов цементно-силикатно-хлоркальциевых инъекционных растворов, позволяющих совместить стадии цементации и силикатизации неустойчивых обводненных грунтов, значительно сократив при этом без потери качества работ сроки их выполнения с экономией материальных, энергетических и других ресурсов. Технология разработана, апробирована и внедрена при прокладке тоннелей БАМа, в частности, в выработках Северомуйского железнодорожного

ного тоннеля и при строительстве метрополитена в г. Алматы (Казахстан).

Результаты и опыт промышленного применения инъекционных способов укрепления слабых грунтов в настоящее время используются при проектировании и возведении объектов народно-хозяйственного значения с применением разработанных методик, руководств и стандартов.

Для упрочнения дисперсных обводненных грунтов в промышленном и гражданском строительстве, как в России, так и за рубежом, все большее распространение получают **струйные технологии стабилизации грунтов (Jet Grouting)**, суть которых заключается в том, что при укреплении дезинтегрированных пород для их предварительного разрушения и последующего перемешивания с вяжущим используется энергия высоконапорной струи. После твердения полученной в массиве грунта грунтоцементной смеси образуется новый материал – грунтобетон, обладающий необходимыми для строительства прочностными, деформационными и противодиффузионными характеристиками. В зависимости от конкретных целей обработки грунтов применяется одно-, двух- и трёхкомпонентные струйные технологии. Кроме того, могут быть использованы специальные приёмы – как частичное предварительное смешение обрабатываемых грунтов, так и полное их замещение цементным раствором. При этом возможны следующие варианты введения вяжущего в грунт:

- с предварительным размывом водой, когда через пробуренную лидерную скважину грунт сначала размывается водой под высоким давлением, а затем следующим проходом также под высоким давлением в него вводится цементный раствор;
- без предварительного размыва – размыв и замещение грунта осуществляется одновременно высоконапорной струей цементного раствора.

Прочность грунтоцемента или материала, получаемого в результате обработки (струйной цементации) грунта, зависит непосредственно как от особенностей, так и от расхода цемента на его закрепление.

Однокомпонентная струйная цементация характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов исключительно струёй цементного раствора. В таком случае возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,4–1,0 м.

Двухкомпонентная цементация характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов с помощью двух струй.

Различают так называемые, воздушную систему, когда струя цементного раствора помещается внутрь струи сжатого воздуха и за счёт этого энергия размыва существенно возрастает, а также водную, при которой с помощью отдельной струи воды при обработке грунтов удаётся использовать режим

предварительного размыва. При двухкомпонентной струйной цементации возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,8–1,8 м.

Как правило цементный раствор при струйной цементации имеет водоцементное отношение $V/C = 0,6–1,0$. При выполнении противодиффузионных завес в раствор дополнительно можно добавлять бентонитовый порошок в пределах до 2 % от массы используемого цемента (при выполнении работ в песчаных грунтах, не содержащих глинистых частиц).

Трёхкомпонентная струйная цементация характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов с помощью трёх струй. Струя воды помещается внутрь струи сжатого воздуха и подаётся через верхнее сопло, что позволяет не только увеличить энергию размыва, но и использовать известный эффект «эрлифта» для выноса на поверхность лёгких частиц размываемых грунтов. Струя цементного раствора поступает через нижнее сопло и служит для перемешивания размываемых, как правило, тяжёлых частиц грунтов. При трёхкомпонентной струйной цементации возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,8–4,0 м.

По проектам Ленметрогипротранса, например, успешно выполнены работы по стабилизации неустойчивых грунтов с использованием технологии Jet Grouting в Санкт-Петербурге на следующих крупных объектах:

- Сенная площадь – укрепление грунтов в основании дорожных одежд под трамвайные пути;
- подземный переход на проспекте Стачек – устройство ограждения котлована из грунтоцементных свай;
- сооружение ствола № 215 на пр. Александровской фермы – устройство ограждающей конструкции из грунтоцементных свай;
- капитальный ремонт КНС «Рижская» – укрепление грунтов по струйной технологии.

Комбинированный способ стабилизации грунтов применен при проектировании и строительстве эскалаторного тоннеля станции «Звенигородская» метрополитена Санкт-Петербурга. Этот способ сочетал технологию Jet Grouting с наклонными лидерными скважинами на начальной стадии работ с последующим рассольным замораживанием закрепленного грунтового массива, обеспечивающим надежную стабилизацию массива дисперсных обводненных неустойчивых пород.

В заключение следует отметить, что накопленный огромный опыт применения специальных способов работ позволяет решать самые разнообразные по назначению и сложности задачи в области проектирования, строительства, капитального ремонта и реконструкции объектов различного назначения в любых инженерно-геологических и геотехнических условиях.



МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



В. Б. Болтинцев, к. т. н., зам. генерального директора по НИР, ЗАО НПФ «Геодизонд», Санкт-Петербург
В. Н. Ильяхин, главный инженер

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.

Для решения задач, связанных с контролем за инженерно-геологическими условиями при проходке подземных горных выработок, начал привлекаться метод электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования как один из способов георадиолокации – технологии, использующей при изучении недр принципы радиолокации.

С первых дней деятельности Геодизонда одновременно с выполнением сложных исследовательских работ (геофизическое обследование проектной линии обходной ветки метро на площади Мужества в Санкт-Петербурге в августе-сентябре 1997 г.; обследование впереди забоев трассы строящегося автодорожного тоннеля в районе п. Мацеста в г. Сочи в 1998 г.), шло развитие и в методологии ЭМИ СШП зондирования.

Одним из его преимуществ является большая глубинность исследования подземного пространства в сравнении с прочими методами георадиолокации. Это стало возможным благодаря разработкам нового типа генераторов электромагнитных импульсов (И. В. Грехов, В. М. Ефанов и др.), использующих в своей схеме дрейфовые диоды с резким восстановлением обратного напряжения (ДДРВ). Увеличению глубины также способствовало применение в представляемой методике мик-

рополосковых антенн, приводимых в работах Б. А. Панченко и Е. И. Нефедовым.

В тоннелестроении от инженерной геологии требуется идентификация геологических структур подземного пространства. Решение подобной задачи геофизическими методами является, чаще всего, невозможным из-за целого ряда факторов, а именно: многослойного строения исследуемого пространства, резко различающихся геометрических параметров геологических структур, многообразия минерального состава каждого слоя подземного пространства. Учесть все изложенные факторы для определения электрофизических свойств исследуемых структур помогли работы Г. А. Арчи и В. Н. Дахнова о связи сопротивления с пористостью и водонасыщенностью и А. Д. Фролова, Л. П. Семинихиной – о предельной концентрации KCl и NaCl в поровых растворах, характеризующих электропроводность грунта в МГц-диапазоне частот.

Применение представленных выше технических разработок способствовало созданию современного мобильного комплекса, имеющего в своем составе:

- набор излучающих генераторов наносекундных импульсов, изготовленных по технологии ДДРВ и имеющих фронты импульсов 0,5 нс, 1 нс, 3 нс при длительности ~ 10 нс; пиковую амплитуду импульса напряжения от

1 до 6,3 кВ, пиковую амплитуду тока – $20 \div 120$ А. Перечисленные характеристики генераторов измерены в полосе 0–20 ГГц;

- аттестованные метрологическими службами в полосе частот 40–1200 МГц передающие антенны и приемные антенно-фидерные устройства (АФУ), для которых согласование со средой определялось через производные функций Ханкеля по трем составляющим: радиусу кривизны поверхности антенны, волновому числу для заданного диапазона длин волн и коэффициенту преломления электромагнитной волны для слоя. В результате этого, для реализации «ямы Брюстера» получены: волновое сопротивление среды (~91,4 Ом) в требуемом диапазоне частот и угол падения излучаемой волны $\sim 68 \div 74^\circ$ при КСВН передающих антенн, измеренном относительно сухого бетона, ~2,25 и КСВН приёмных АФУ – 1,86;

- приемно-регистрирующий блок с высокой помехозащищенностью для записи в полевых условиях принимаемых сигналов ~20 мВ – 100 В.

Параллельно с теоретическими разработками производились многочисленные экспериментальные исследования. Это, в первую очередь, геофизические измерения на водной глади водоемов, при проведении которых измерительный блок размещался на

дне лодок, на деревянных и пенопластовых плотках. Это и выполнение измерений на различных типах горных пород: рыхлых четвертичных отложениях; скальных породах осадочного, вулканического и интрузивного генезиса; водонасыщенных грунтах и сухих песках пустыни.

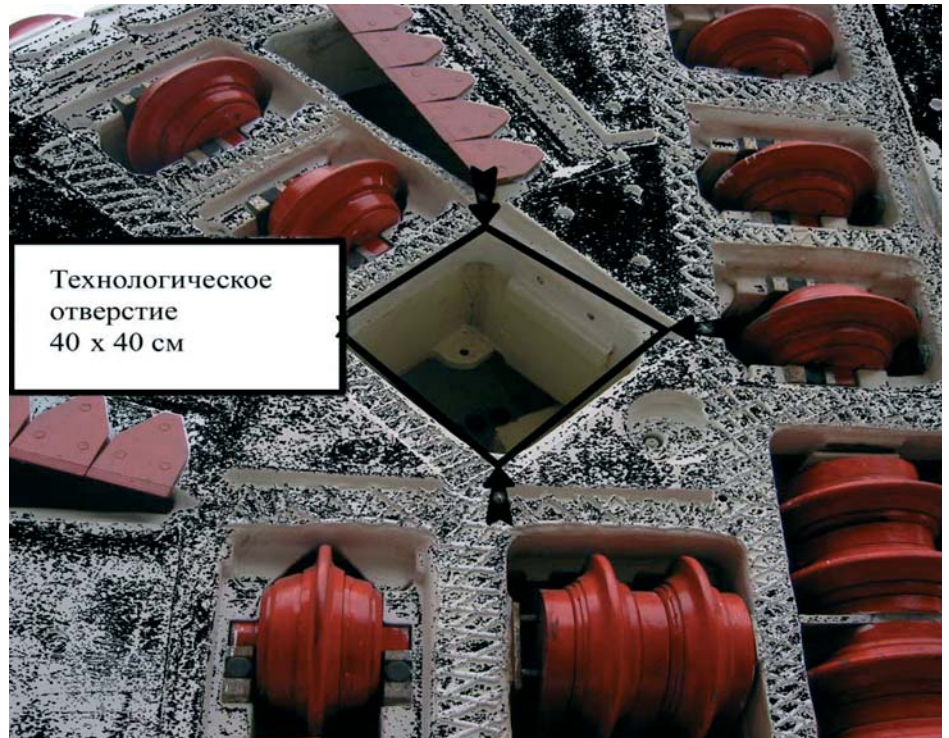
За время своей деятельности предприятием достигнуты большие успехи в изучении особенностей метода ЭМИ СШП зондирования при инженерно-геологических изысканиях в различных «нестандартных» условиях, к которым могут быть отнесены: обследования в условиях вечной мерзлоты на объекте «Подводный переход МН «УБНВ», основная и резервная нитки, р. Обь, 233 км» (январь 2003 г.) и оценка состояния существующих свайных фундаментов жилых многоквартирных домов в г. Якутске (1998 г.); многочисленные исследования геологических разрезов на трассах нефтепроводов и продуктопроводов АК ОАО «Транснефть», выполненные с поверхности открытых водоемов (2000–2006 гг.); исследования в условиях каменистой пустыни в Иордании (2010 г.).

Высококвалифицированные сотрудники ЗАО НПФ «Геодизонд» Л. А. Алдошкина, С. В. Андрианов, М. В. Лобчикова и другие в разные годы работы предприятия плодотворно участвовали в разработках и создании методик обследования сложных технических сооружений. Основное внимание было уделено эффективности исследования подземных горных выработок. Для оценки состояния контакта «горный массив – тоннель» были выполнены расчеты и доказана возможность радиолокационного обследования заобделочного пространства через железобетонные и чугунные элементы обделки действующих тоннелей, но главный упор проводимых разработок был направлен на оценку инженерно-геологических условий на трассах горных выработок в процессе их сооружения.

Мониторинг подземного пространства на этапе строительства подземных объектов становится в настоящее время востребованным процессом, в первую очередь из-за того, что в последние годы техника и способы проведения работ существенно шагнули вперед: современные горнопроходческие агрегаты способны одновременно решать многофункциональные технологические задачи, в связи с чем возросли и скорости проходки. В свою очередь это требует оперативного инструментального контроля за состоянием горного массива как впереди забоев строящихся тоннелей, так и на контакте с обделкой уже пройденной части выработок (К. П. Безродный, 1996 г.).

В рамках геотехнического мониторинга подземного пространства вперед забоя в строящихся тоннелях с помощью комплекса ЭМИ СШП зондирования решаются следующие задачи:

- уточняется положение литологических разностей горных пород;



Вид режущей части ротора горнопроходческого щита Herrenknecht 10690. На передней части – одно из технологических отверстий, в которых размещаются измерительные антенны ЭМИ СШП комплекса

- дается прогноз тектонической обстановки и гидрологических условий в горном массиве на трассах тоннелей и штолен;

- выборочно производится контроль состояния горных пород на участках развития крупных тектонических структур.

Наибольшим успехом своего участия в комплексном геотехническом мониторинге подземного пространства Геодизонд считает исследования, проводимые совместно с ОАО «Ленметрогипротранс» в тоннелях, разрабатываемых с помощью ТПМК. ЭМИ СШП измерения в горных выработках, проходка которых велась механизированными щитами, существенно осложняется, в первую очередь, за счет малых размеров технологических отверстий, доступных для размещения измерительного блока (максимальный размер отверстий – 40×40 см, см. рис.), а во-вторых, за счет ограниченного количества технологических отверстий на режущей части щита. Приняв во внимание эти осложняющие факторы, была разработана новая серия рупорных антенн для проведения геофизических исследований «через щит».

Результаты теоретических разработок в области ЭМИ СШП зондирования и их практические воплощения в инженерно-геологических изысканиях на различных объектах ежегодно докладывались на научно-практических конференциях, таких как: «Подземное строительство на рубеже XXI века» (2000, Москва); Международная геофизическая конференция «Горно-геологической службе России 300 лет» (2000, Санкт-Петербург); «Георадар – 2002» (2002, МГУ, Москва); общероссийская конференция изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в

Российской Федерации» (2006, Москва); «Особенности инженерно-геологических изысканий и определения физико-механических свойств грунтов для проектирования зданий и сооружений повышенного уровня ответственности» (2008, Санкт-Петербург); Proceedings ITA-AITES World Tunnel Congress (2009, г. Будапешт); Всероссийская конференция «Геодинамика и напряжённое состояние недр Земли» (2011, г. Новосибирск).

Сегодня можно говорить о том, что решен ряд новых научно-технических и инженерных задач, совершенствующих методику подповерхностного ЭМИ СШП зондирования. Однако как от самого метода, так и от предприятия ЗАО НПФ «Геодизонд» жизнь требует движения вперед, в связи с чем были определены следующие актуальные задачи, решать которые предстоит в ближайшее время, а именно: увеличить глубинность зондирования горных пород до 300 м; промышленное освоение применения метода ЭМИ СШП зондирования в обследовании площадей с борта летательных аппаратов; использование метода в оценке ледовой обстановки (толщина льда, его состояние) в руслах рек в периоды половодья и др.

Располагая современной научно-технической базой, профессиональным составом специалистов и опытными сотрудниками, ЗАО НПФ «Геодизонд» уверенно смотрит в будущее, оставаясь базовым предприятием, успешно реализующим методику ЭМИ СШП зондирования в комплексных инженерно-геологических исследованиях, проводимых на многочисленных объектах Российской Федерации и за рубежом научно-исследовательским проектно-изыскательским институтом «Ленметрогипротранс».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В. П. Хуцкий, к. т. н., зав. сектором, ЗАО «ВНИИ Галургии»



Величина деформаций земной поверхности и находящихся на ней объектов при сооружении станций метрополитена зависит от горно-геологических условий и конструктивно-технологических решений строительства. Выбор размещения тоннеля в грунтовой толще и соответствующих этим инженерно-геологическим условиям конструктивно-технологических решений оказывает существенное влияние на величину оседания и деформаций земной поверхности и расположенной на ней застройки. Поэтому несомненный интерес представляет исследование влияния этих факторов на

оседание земной поверхности. В настоящей статье приведены результаты анализа степени влияния горно-геологических факторов на оседание земной поверхности при строительстве метрополитена в условиях Санкт-Петербурга.

Массив горных пород, в котором осуществляется сооружение станций и перегонных тоннелей Петербургского метрополитена, представляет собой комплекс слабых неустойчивых грунтов (четвертичных отложений), подстилаемых протерозойскими глинами (рис. 1). Станции, как правило, располагаются в толще плотных, достаточно устойчивых нижнепротерозойских глин (тонкослоистые глины, твердые, модуль деформации 250–270 МПа). Толща протерозойских глин в своей верхней части представлена глинами с перемятой слоистостью (переходный слой), что является следствием ледниковой деятельности. Мощность нарушенных глин колеблется от 2–3 до 10–15 м, а в некоторых местах и до 25 м. По устойчивости и прочности грунты переходного слоя (модуль деформации, как правило, составляет порядка 100 МПа) занимают промежуточное положение между нижнепротерозойскими глинами и породами четвертичных отложений.

В Санкт-Петербурге возводятся станции метрополитена трех типов: односводчатые, пилонные и колонные. Станционные тоннели сооружаются обычными щитовыми проходческими комплексами и горным способом. Строительство односводчатых станций начинается с про-

ходки опорных тоннелей диаметром 5,5 м. После бетонирования опор горным способом сооружается большесводчатая конструкция станционного тоннеля (радиус верхнего свода 11,2 м). Конструкция пилонной станции предполагает независимую проходку параллельных тоннелей кругового сечения, как правило, диаметром 8,5 м с последующим соединением их проходками. Колонная станция представляет собой единую пространственную конструкцию. Сначала сооружаются боковые тоннели с оставлением целика между

ними и опережением забоев на 25–50 м. Затем в боковых тоннелях возводятся несущие конструкции, основным элементом которых являются колонны. После этого проходят средний станционный тоннель. Диаметр его обычно составляет 9,8 м, боковых – 8,5 или 9,8 м. Проходка их пилонных и колонных станций осуществляется на полное сечение или способом пилот-тоннеля с последующим раскрытием до проектного диаметра. Прокладку среднего тоннеля ведут сплошным забоем с монтажом обделки тоннельным укладчиком.

Проведенные исследования влияния конструктивно-технологических особенностей строительства станций на параметры процесса сдвижения показали, что наименьшая величина деформаций земной поверхности после возведения станций в одинаковых инженерно-геологических условиях и относительно равной глубине заложения наблюдается на станциях колонного и пилонного типов. Особенностью сдвижения земной поверхности в процессе строительства односводчатой конструкции является то, что при проходке станционного тоннеля с монтажом свода достигается практически такая же величина максимального оседания в мульде, как после сооружения трех тоннелей колонной или пилонной станции.

При строительстве тоннелей и станций с одинаковыми конструктивно-технологическими характеристиками величины оседания земной поверхности могут отличаться весьма значительно в зависимости от условий заложения станционных комплексов в грунтовой толще и деформационных свойств вмещающих породы. Так, например, при возведении пилонных станций «Технологический институт-2», «Невский проспект» и «Сенная площадь» максимальная величина оседания земной поверхности над станционными тоннелями составила 120–180 мм, тогда как при сооружении станций аналогичной конструкции «Электросила» и «Московские ворота» она достигала 400–600 мм.

Для определения степени влияния горно-геологических факторов были проведены исследования зависимости оседания поверхности от строения грунтовой толщи над верхним сводом при проходке тоннелей разного диаметра. Исследования выполнялись на основании данных натуральных наблюдений. При их проведении использовался программный комплекс «City-Tunnel». Методика и алгоритм расчета оседания и деформаций, заложенные в этом программном комплексе, основываются на аналитическом методе прогноза сдвижения

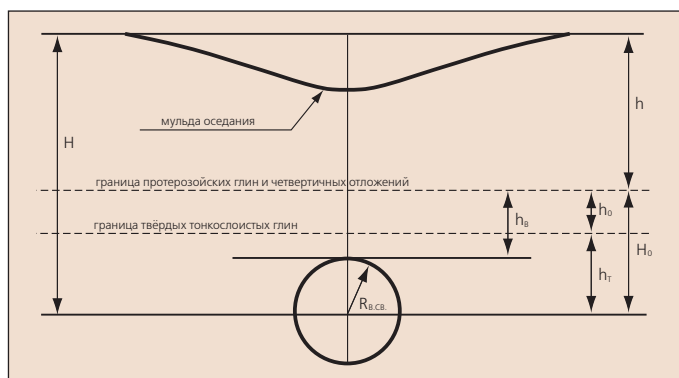


Рис. 1. Схема расположения тоннеля в грунтовой массе:

H – глубина заложения тоннеля ($H=h+H_0$);

h – мощность четвертичных отложений;

H_0 – глубина заложения тоннеля в толще протерозойских глин ($H_0=h_0+h_T$);

h_0 – мощность глин переходного слоя;

h_T – глубина заложения тоннеля в толще твердых тонкослоистых глин;

h_b – общая мощность протерозойских глин над верхним сводом тоннеля

($h_b=H_0-R_{в.св.}$);

$R_{в.св.}$ – радиус верхнего свода тоннеля

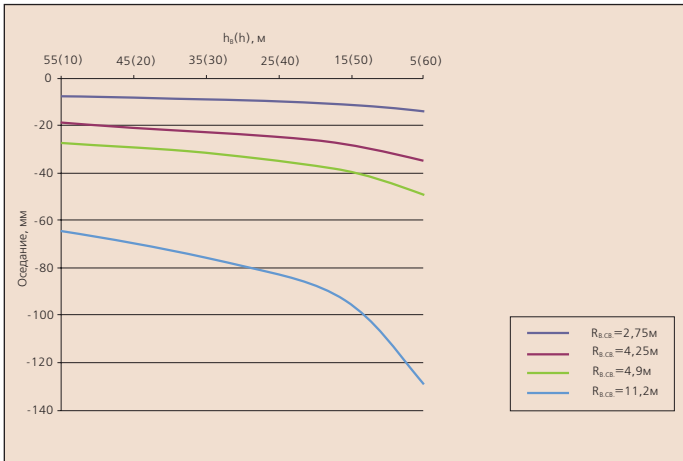


Рис. 2. Зависимость максимальных значений оседания земной поверхности от диаметра тоннеля при разном соотношении мощности протерозойских глин (h_p) и четвертичных отложений (h) над верхним сводом тоннеля

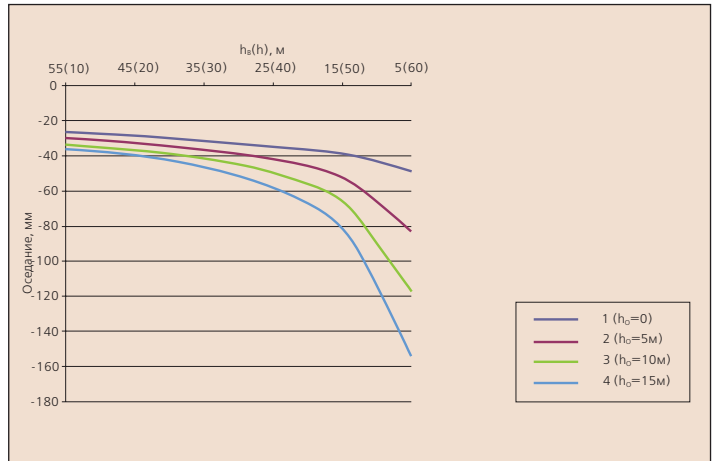


Рис. 3. Зависимость максимальных значений оседания земной поверхности от строения грунтовой толщи над верхним сводом станционных тоннелей (при общей мощности протерозойских глин над верхним сводом более 5 м)

земной поверхности с использованием функций распределения оседания в мульде. Алгоритм учитывает комплекс факторов, влияющих на формирование мульды сдвижения: характеристики грунтового массива, технологию и временную последовательность выполнения проходческих работ, пространственное положение тоннелей и т. п.

Максимальные значения оседания земной поверхности определялись для различных условий проходки тоннелей разного диаметра. Расчет производился в диапазоне таких отношений мощности протерозойских глин и четвертичных отложений над верхним сводом тоннелей и таких параметров сечений тоннелей и технологий их проходки, которые встречаются при прокладке метрополитена в Санкт-Петербурге. Основные результаты исследований представлены в виде графиков на рис. 2–4.

На рис. 2 представлены результаты исследования влияния радиуса верхнего свода тоннеля на оседание земной поверхности при сооружении станционных тоннелей. Оседание земной поверхности практически прямо пропорционально зависит от радиуса верхнего свода тоннеля. Так, например, при его увеличении с 4,9 до 11,2 м максимальное оседание возрастает с 50 до 130 мм. Таким образом, оседание земной поверхности в значительной степени зависит от радиуса верхнего свода тоннеля, причем, при любом соотношении мощностей четвертичных отложений и протерозойских глин над верхним сводом. Поэтому строительство станционного тоннеля односводчатой станции при любых сочетаниях мощностей протерозойских глин и четвертичных отложений над верхним сводом дает значительно большие величины оседания, чем проходка в аналогичных условиях тоннелей пилонных и колонных станций.

На рис. 3 и 4 представлены результаты исследования сооружения тоннеля диаметром 9,8 м на одинаковой глубине при различном строении грунтовой толщи над верхним сводом. Из рис. 3 следует, что при общей мощности протерозойских глин над верхним сводом более 15 м по мере увеличения составляющей

четвертичных отложений и слоя перемежатых глин рост оседания незначителен и происходит равномерно (графики 1–4). Более значительный рост наблюдается при уменьшении общей мощности протерозойских глин над верхним сводом тоннеля от 15 до 5 м. Особенно это заметно при увеличении составляющей глин переходного слоя в общей мощности протерозойских глин. Максимальное оседание земной поверхности наблюдается, когда тоннель проходит в переходном слое (весь слой протерозойских глин представлен глинами переходного слоя, рис. 3, график 4).

Более значительный рост оседания наблюдается при уменьшении слоя протерозойских глин от 5 до 0 м (рис. 4), т. е. когда толщина четвертичных отложений непосредственно подходит к верхнему своду на расстояние меньше 5 м. Наиболее резкий рост оседания происходит при величине слоя протерозойских глин менее 1 м. При этом, максимальное оседание наблюдается в случае, когда неустойчивые грунты четвертичных отложений непосредственно подходят к верхнему своду тоннеля (максимум графика 1). Максимум оседания наблюдается, если четвертичные отложения подходят к верхнему своду, а тоннель сооружается в слое перемежатых глин (графики 2, 3).

Таким образом, подводя итоги проведенных исследований влияния горно-геологических факторов на оседание земной поверхности, можно сделать следующие выводы.

1. Оседание земной поверхности в значительной степени зависит от радиуса верхнего свода тоннеля при любом соотношении мощностей четвертичных отложений и протерозойских глин над верхним сводом.

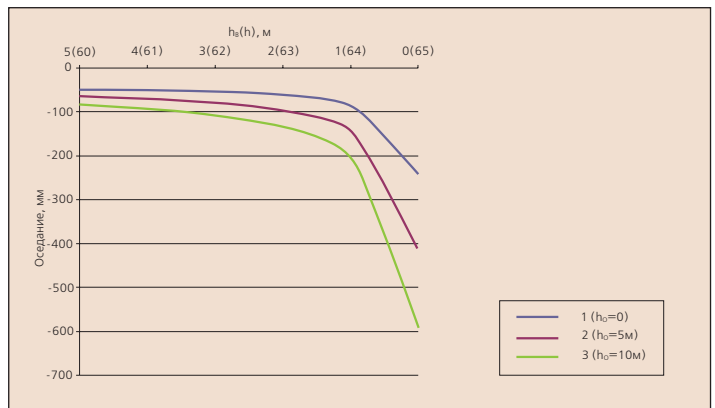


Рис. 4. Зависимость максимальных значений оседания земной поверхности от строения грунтовой толщи над верхним сводом станционных тоннелей (при общей мощности протерозойских глин над верхним сводом менее 5 м)

2. При общей их мощности более 15 м и мощности тонкослоистых глин свыше 5 м оседание земной поверхности минимально, а возрастание составляющей четвертичных отложений в глубине заложения тоннеля и увеличение слоя перемежатых глин незначительно влияют на рост оседания земной поверхности. Эти условия являются наиболее благоприятными для проходки станционных тоннелей с точки зрения безопасности объектов, расположенных над станционными комплексами.

3. При общей мощности протерозойских глин над верхним сводом тоннеля менее 15 м рост составляющей глин переходного слоя заметно влияет на величину оседания земной поверхности. Наиболее значительные величины наблюдаются, когда тоннель сооружается в переходном слое или когда неустойчивые грунты четвертичных отложений непосредственно подходят к верхнему своду тоннеля. Вследствие этого, при проходке в условиях, когда мощность тонкослоистых глин над верхним сводом тоннеля менее 1 м или в слое протерозойских глин с перемежатой слоистостью, без применения специальных методов работ деформации земной поверхности всегда будут весьма значительны и представлять опасность для объектов на земной поверхности.



СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ



В. Г. Штыров, канд. геол.-мин. наук

С. Я. Нагорный, заслуженный геолог России

А. И. Арнаутов, канд. геол.-мин. наук, доцент, ОАО НИПИИ «Ленметрогиипротранс»

В статье рассматривается оценка инженерно-геологических условий территории трассы «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» для обоснования проектных решений при сооружении тоннелей, размещения сооружений в плане и по глубине, назначения типов временного крепления и постоянной обделки. Возможность прогноза развития и интенсивности опасных геологических процессов и их влияния на условия строительства и эксплуатацию подземных сооружений.

Черноморское побережье России, являясь одним из крупнейших курортных районов страны, испытывает большую техногенную нагрузку. Здесь сосредоточены автомагистрали, морские порты, железнодорожные узлы и другие объекты.

Сложность строения территории и ее приуроченность к активно растущему поднятению Кавказа предопределили большое разнообразие геологических процессов, которые могут негативно сказаться на обеспечении безопасности функционирования различных инженерных сооружений. Среди геологических процессов в первую очередь необходимо отметить геодинамическую активность и сейсмичность, с которыми прямо или косвенно связано большинство остальных процессов. Поэтому для повышения безопасности и эффективности строительных работ изучение инженерно-геологических условий территории Черноморского побережья, отвечающих современным требованиям инженерной геологии, является в настоящее время актуальной задачей.

Знание неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий – это научная основа для решения прикладных задач при проектировании, строительстве и безопасной эксплуатации транспортных сооружений. Поскольку именно инженерно-геологические условия определяют сложность

возведения инженерных сооружений в транспортном строительстве, то недостаточно полное их изучение и учет могут привести к негативным последствиям.

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

Как искусственные подземные сооружения тоннели относятся к категории уникальных. Это технически сложный и дорогостоящий элемент строительной отрасли экономики страны, одной из основных задач которой в настоящее время является выполнение Федеральной целевой программы строительства олимпийских объектов в г. Сочи. Самым значимым объектом тоннельной программы на сегодняшний день является, несомненно, совмещенная автомобильная и железная дорога «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». В ее составе особо важное место занимает строительство искусственных сооружений – тоннелей, которые будут обеспечивать транспортное со-

общение с олимпийскими объектами. В этой связи в современных условиях придается исключительно большое значение использованию наиболее совершенных, научно-обоснованных и экономичных технических решений в сфере конструкций, технологий производства работ, комплексной механизации и автоматизации подземного строительства.

При проходке транспортных тоннелей применяется, как правило, горный способ работ, методом нижнего уступа, с разработкой породы ($f < b$) проходческими комбайнами, в более крепких породах предусматриваются буровзрывные работы, с дальнейшей доработкой комбайнами до проектного контура выработки. Также применяются высокопроизводительные тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК). В последние два десятилетия технология прокладки тоннелей механизированными щитами сильно продвинулась вперед, данный способ в сравнении с буровзрывным предпочтительнее по многим показателям, но экономически проигрывает при малых скоростях проходки. При строительстве тоннелей для дорог олимпийского Сочи применяются практически все известные в мире способы работ, в том числе специализированные методы закрепления грунта, например, закрепление грунтов по технологии

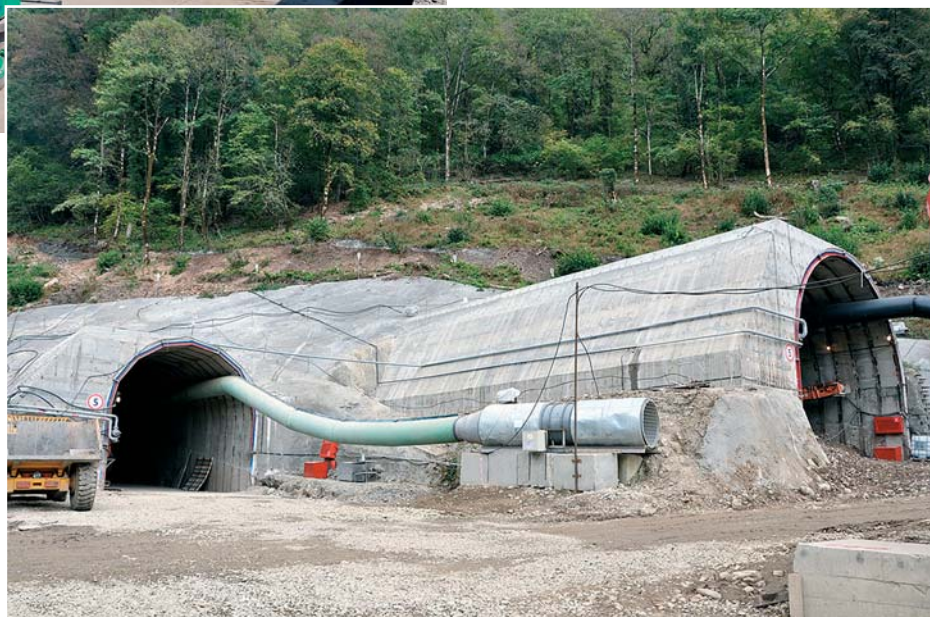


На строительстве Тоннельного комплекса № 3 на дороге Адлер – «Альпика-Сервис» в Сочи

Jet-grouting, или с использованием свай различного типа (буронабивные, забивные), нарызг-бетон, анкерное закрепление забоя, устройство в своде и стенах экрана из труб и др. Для разработки грунта в тоннелях щитовым способом применяют несколько типов машин известных зарубежных фирм «Lovat» и «Herrenknecht» диаметром от 3,9 до 13,2 м.

По трассе планируется строительство шести тоннельных комплексов общей протяженностью подземных выработок около 32,5 км, включающих шесть железнодорожных тоннелей длиной 11096 м, три автомобильных протяженностью 6867 м, три сервисно-эвакуационных штольни длиной 11056 м и другие вспомогательные выработки для обслуживания тоннелей протяженностью около 3500 м. Согласно графику, утвержденному комиссией Международного олимпийского комитета (МОК) по строительству, на весь проект отводится пять лет. Трасса Адлер – «Альпика-Сервис» должна быть сдана не позднее второго квартала 2013 г.

Территория прокладки тоннелей находится в сложных и очень сложных геологических условиях, характеризующихся высокой тектонодинамической активностью и связанными с ней сейсмичностью и экзогенными проявлениями. Кроме того, проходка многих участков осложнена наличием горных пород со сложными условиями залегания и обладающих различными физико-механическими свойствами, обилием разрывных нарушений, зон повышенной трещиноватости и дробления пород, неблагоприятной геоморфологической ситуацией и проявлением опасных геологических процессов. В процессе возведения подземного сооружения нарушается естественное равновесие массива горных пород, что может приводить к деформациям и подвижкам. Поэтому одной из наиболее важных задач последующего геомеханического обеспечения является контроль и управление деформационными



процессами, протекающими в массиве горных пород и на его поверхности.

На рассматриваемой территории распространены осадочные, метаморфизованные и магматические образования, слагающие три структурных этажа: верхнепалеозойско-триасовый, нижнесреднеюрский (киммерийский) и мезозойско-кайнозойский (альпийский).

Первый из них сложен карбонатно-терригенными, терригенными грубообломочными породами, нижнесреднеюрский представлен терригенными и вулканогенными образованиями, а мезозойско-кайнозойский структурный этаж – терригенно-карбонатными отложениями.

Здесь следует указать на недостаточную изученность, которая была на начальных этапах работ, как геологических, так и инженерно-геологических условий территории прохождения трассы, где до последних лет никаких детальных площадных, а тем более комплексных исследований не проводилось.

Поэтому на начало работ в геологическом строении территории инженерно-геологические условия были слабо изученной областью, и не охватывали весь возможный круг инженерных задач, при решении которых требуется прямая оценка инженерно-геоло-

гических параметров, характеризующих массив горных пород.

Целью исследований явилась оценка инженерно-геологических условий для обоснования проектных решений при сооружении тоннелей различными способами и с использованием высокопроизводительных тоннелепроходческих комплексов – щитовой метод, размещения сооружений в плане и по глубине, назначения типов временного крепления и постоянной обделки, а также возможности прогноза развития и интенсивности опасных геологических процессов и их влияния на условия строительства и эксплуатацию сооружений.

На первом этапе изысканий изучалось геологическое строение, инженерно-геологические и гидрогеологические условия района, области возможного распространения опасных геологических процессов. Оценивалось состояние массива (в том числе и геодинамическое), то есть выявлялась тектоническая нарушенность горных пород, активность и направленность тектонических движений, дизъюнктивная нарушенность тектонических зон.

Полученные данные дополнялись и уточнялись комплексом геофизических исследований, которые проводились непосред-

ственно по трассам проектируемых тоннелей, включая припорทัลные участки. Исследования включали сейсморазведку, сейсмоакустику, электроразведку, сверхширокополосное георадиозондирование, геохимическую съемку. Работы велись для расчленения геологического разреза по физическим параметрам, картирования тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости, оценки обводненности пород, выявления зон ослабления и поверхностей скольжения на оползневых участках, оценки геодинамической активности оползней, а также для разработки карты сейсмического микрорайонирования на полосу трассы на всем ее протяжении.

Для уточнения положения зон разрывных нарушений, характеристики их открытости и активности выполнялись геохимические исследования. В них входили измерения эманацій радона, торона и концентрации углеродосодержащих газов, водорода и метана, а также велись структурно-тектонические наблюдения и изучалась трещиноватость на эталонных площадках.

Результатом съемки явились структурно-тектонические карты с выделением обводненных зон повышенной трещиноватости, с характеристикой неотектонических проявлений вдоль разломных зон и контроля их рельефа, выявлены разрывные нарушения и участки возможного распространения опасных геологических процессов.

По данным карстово-спелеологических изысканий была дана подробная характеристика карстопоявлений по району работ, составлены карты участков поверхностного и подземного карста в полосе трассы, показаны места расположения пещер, поноров, трещин и полостей.

Обобщая результаты проведенных буровых работ, геологической и инженерно-геологической съемок, структурно-тектонических и гидролого-гидрогеологических исследований различного масштаба на стадии «Проект», была произведена оценка и получено представление об инженерно-геологических условиях массива пород, вмещающих подземное сооружение, и грунтов, являющихся основанием для размещения строительных площадок. Были приняты проектные решения по условиям проходки тоннелей традиционным горным способом и с применением высокопроизводительных тоннелепроходческих комплексов. В проектах были отображены способы проходки сложных участков, разработаны гидроизоляция, противокарстовая и противооползневая защита сооружений и дренажные системы.

Кроме того, были выделены зоны мощностью от 10,0 до 150,0 м, где отмечалась различная по величине перемежаемость участков дробленых и участков разной

степени трещиноватости пород. Дробленность пород часто до состояния песка и песчано-глинистого материала. Эти зоны имеют сложный характер по литологическому и вещественному составу, а следовательно, и по физико-механическим свойствам слагающих их образований.

Для безаварийной работы тоннелепроходческого комплекса, исходя из имеющихся представлений о геологическом строении тектонических зон на стадии рабочей документации, последовала необходимость дополнения и уточнения инженерно-геологических условий выделенных зон. Проблема надежной оценки устойчивости грунтов в массиве остается чрезвычайно актуальной в целом, а для строительства тоннелей щитовым методом – стоит особенно остро. Поэтому для обеспечения устойчивости, безопасной проходки и дальнейшей эксплуатации тоннелей важно было вовремя, до подхода к тектонически нарушенным породам выявить их месторасположение и оценить характер, величину и опасность готовящихся нарушений целостности массива пород. Прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий впереди забоев тоннелей осуществляется с помощью электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования, которое является разновидностью георадиолокационного метода и основан на восстановлении изображения структуры в разрезе горного массива по отраженному сигналу при распространении электромагнитного импульса наносекундной длительности. Метод ЭМИ СШП зондирования позволяет дифференцировать технологические структуры на глубину исследования 100 м и более.

Оценку устойчивости призабойного участка тоннеля осуществляли с помощью регистрации естественных импульсов электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ). Кроме этого, методом регистрации ЕИЭМПЗ определяли зоны нарушенных грунтов впереди забоя на расстоянии одного диаметра выработки.

С помощью сеймопрофилеирования выявляли скорости прохождения продольных и поперечных волн и, зная их, определяли деформационные и прочностные свойства литологических разностей.

Таким образом, по результатам изыскательских работ и на основании обработки всей имеющейся геологической информации, были даны инженерно-геологические условия строительства тоннелей. В настоящее время, суммируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: материалы и объемы выполненных геологических работ позволяют принять принципиальные проектные решения, которые значительно снижают риски строительства тоннелей в сложных горно-геологических условиях.

ТОННЕЛЬНЫЙ АВТОПОЕЗД TSP

TSP – это транспортное средство на резиновых шинах, способное доставить в строящийся тоннель: комплект блоков для одного кольца; один смесительный бункер объемом 12 м³.

По желанию, на платформе можно установить гидравлически управляемый кран, стрелу с ковшом, вагончик для 20-ти человек.



Основные технические данные TSP

Диаметр тоннеля: от 6 до 15 м
Грузоподъемность: от 60 до 160 т
Вес: от 25 т
Ширина: от 1.70 м
Радиус поворота: 50 м
Макс. скорость вверх по уклону 5,5 %: 15 км/ч
Макс. скорость по горизонтальному полу в нагруженном состоянии: 16 км/ч
Макс. скорость в ненагруженном состоянии: 18 км/ч
Двигатель: CAT C9.3 242 кВт при 2100 об/мин.

TSP – это автотранспортное средство, имеющее множественный привод и характеризующееся хорошим сцеплением с дорогой и трансмиссией с максимальным крутящим моментом.

Использование резиновых шин позволяет: уменьшить затраты на топливо, вентиляцию, рельсы и их содержание; сократить срок ввода тоннеля в эксплуатацию; работать совершенно безопасно.

TSP обеспечивает: повышенную безопасность против скольжения; возможность преодолевать участки с большим уклоном; более надежную и управляемую тормозную систему.

Множественный привод, независимая подвеска, система противоскольжения обеспечивают: способность двигаться по сильно загрязненной поверхности (бентонит, грязь, вода); способность двигаться по неровной поверхности (изменение уклона, разница уровней блоков в стыке, ступеньки); способность преодолевать ступеньки высотой около 150 мм; уменьшенную нагрузку на колеса; отличную приспособляемость к условиям в тоннеле и на поверхности.

Коэффициент использования на известных нам строительных объектах: 95 %.



ZI La Saule BP 111
FR-71304 Montceau cedex, France

Tel : +33(0)3 85 57 01 34
Fax : +33(0)3 85 57 88 73
info@metalliance-tsi.com
www.metalliance-tsi.com

Представительство в России:
107078, Москва,
ул. Новорязанская, 16, оф. 20
Тел.: (495) 724-74-81
Факс: (499) 265-79-5
e-mail: metrotunnels@yahoo.com

ПРОЕКТЫ КОНСТРУКТОРСКОГО ОТДЕЛА

Г. Р. Захаров, начальник конструкторского отдела ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»



За 65 лет отделом проектирования тоннельных строительных конструкций разработаны практически все несущие элементы, которые были использованы при сооружении тоннелей и метрополитенов, запроектированных Ленметрогипротрансом.

Коллективом отдела созданы колонная станция с железобетонной обделкой, пилонная с балочными перемычками из стальных элементов, без боковых посадочных платформ, односводчатая и двухэтажные станции, обделка перегонных тоннелей, обжатая в породу, обделка автодорожного тоннеля из наплавных секций под морским каналом, монолитные железобетонные конструкции автодорожных и железнодорожных тоннелей и много других.

В отделе работали выдающиеся инженеры-конструкторы: В. И. Акатов, Н. С. Арсеньева, А. А. Рыжкова, С. П. Щукин, А. Н. Яковлев, которые долгие годы определяли его техническую политику.

Метрополитен

Конструкторский отдел активно занимался проектированием объектов метрополитена Санкт-Петербурга. На стадии проекта выполнялись работы по проектированию 5-й линии от ст. «Комендантский проспект» до ст. «30 магистраль» и от ст. «Садовая» («Площадь Мира-III») до ст. «Международная» («Улица Белы Куна») с участком переключения от ст. «Достоевская» до ст. «Спасская» («Площадь Мира-II»). Так же как на

стадии проекта, так и рабочих чертежей запроектированы конструкции наклонного хода ст. «Адмиралтейская» и на замену эскалаторов на ст. «Нарвская». Разработан проект второго выхода со ст. «Спортивная» на Васильевский остров с сооружением пассажирских конвейеров под рекой.

В текущем году закончен проект Красносельско-Калининской линии с шестью станциями, из которых три являются пересадочными на существующие станции других линий, с веткой в депо. В данном проекте впервые предусматривается возведение обделки ст. «Черниговская» по новой технологии из монолитного железобетона, а станции пилонного типа «Казаковская» и «Боровая» запроектированы со средним залом в обделке наружным диаметром 9,8 м. Для ветки в депо, пересекающую слабые водонасыщенные грунты, предполагается использовать обделку наружным диаметром 5,9 м, собираемую щитом ТПМК из высокоточных железобетонных блоков и резиновым уплотнителем для гидроизоляции стыков между блоками.

Сейчас конструкторский отдел продолжает проектирование 5-й линии от ст. «Международная» до ст. «Южная», где впервые предусматривается применение для перегонных тоннелей обделки наружным диаметром 10,4 м, сооружаемую щитом ТПМК из сборных железобетонных блоков. Также ведутся работы на стадии проекта по полной замене эскалато-

ров с частичной заменой конструкций наклонного хода ст. «Пушкинская».

В 2008 г начал эксплуатироваться участок 5-й линии от ст. «Садовая» до ст. «Волковская», под Сенной площадью появился пересадочный узел с тремя станциями. В 2009 г было закончено строительство наклонного хода ст. «Звенигородская», который был впервые выполнен в монолитной железобетонной обделке с обмазочной гидроизоляцией. В 2010 г начал эксплуатироваться эскалаторный тоннель на ст. «Обводный канал», обделка которого впервые была сооружена с помощью ТПМК из сборных железобетонных блоков, запроектированных сотрудниками конструкторского отдела.

Продолжается проектирование объектов на строящемся участке 5-й линии от ст. «Волковская» до ст. «Международная», который предстоит сдать в эксплуатацию в 2012 г.

Тоннели

Отделом запроектированы конструкции для десяти эксплуатируемых тоннелей БАМа, в том числе Северомуйского (15,3 км) – одного из сложнейших объектов подобного рода в мире, построенного в экстремальных климатических и инженерно-геологических условиях, в 9-балльной сейсмической зоне; уникального подводного автодорожного тоннеля на Канонерский остров под Морским каналом в Санкт-Петербурге, пройденного методом погружения наплавных тоннельных секций, Мацестинского (на обходе г. Сочи) и Краснополянского автодорожных тоннелей на трассе Адлер – Красная Поляна; 1-го бис тоннеля, Лысогорского и Б. Новороссийского тоннелей в Краснодарском крае. Завершается прокладка на участке Абакан – Тайшет Красноярской ж. д. нового Крольского тоннеля, который стал первым в России железнодорожным тоннелем, пройденным ТПМК. Отделом запроектирована новая высокоточная железобетонная обделка, герметичность которой обеспечена установкой в стыках между блоками двух контуров сминаемых гидроизолирующих прокладок.

Сегодня приоритетным направлением в проектировании являются объекты на Олимпийской трассе. Это и новые тоннели комплексов № 1–3 на совмещенной дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» и не менее сложные по конструкциям тоннели второго сплошного пути на участке Туапсе – Адлер, расположенные на оползневых участках, где необходимо применять свайные фундаменты.

Отдел в составе института участвует в тендерах на проектирование тоннелей. Самыми интересными и сложными были конкурсы на проектирование автодорожного Орловского тоннеля в Санкт-Петербурге под Невой и тоннельный вариант перехода под проливом Невельского на остров Сахалин. Специалисты отдела консультировали вопросы проектирования и строительства тоннелей в Сирии, Алжире, Армении, Северной Корее.

Также частью нашей деятельности является работа с различными экспертизами. Вся тоннельная документация отдела на стадии «Проект» получила положительное заключение ГТЭ, что говорит о качестве выпускаемой отделом продукции.



История конструкторского отдела

Начальники	
Владимир Иванович Медейко (1952–1953)	
Леонид Всеволодович Фролов (1953–1967)	
Георгий Александрович Скобейников (1968–1976)	
Славомир Иванович Кораго (1976–1985)	
Александр Иванович Салан (1986–1990)	
Георгий Рафаэлевич Захаров (1990 – по наст. время)	
Главные специалисты	
Семен Михайлович Эпштейн (1951–1971)	
Владимир Георгиевич Соболев (1971–1976)	
Евгений Алексеевич Эрганов (1972–1977)	
Виктор Иванович Акатов (1972–2003)	
Александр Николаевич Яковлев (1979–1986)	
Нина Сергеевна Арсеньева (1983–1984)	
Юрий Павлович Кухаренок (1988–1990)	
Виктория Валентиновна Шабанова (1990–2001)	
Евгений Александрович Алексеев (1995–2002)	
Вера Борисовна Фадеева (2001 – по наст. время)	
Людмила Федоровна Багуцкая (2005 – по наст. время)	
Руководители групп	
Ольга Владимировна Грейц (1954–1970)	
Сергей Петрович Щукин (1962–1968)	
Георгий Павлович Конончук (1967–1970)	
Эраст Львович Надежный (1968–1980)	
Людмила Александровна Гүзевич (1968–1980)	
Михаил Самуилович Клещук (1976–1979)	
Михаил Леонидович Покрывалов (1978–1983)	
Алина Александровна Рыжкова (1979–1985)	
Алла Викторовна Тройникова (1979–1999)	
Марина Георгиевна Агаджанова (1981–1991)	
Марина Александровна Ромашова (1986–1992)	
Гарри Петрович Шаргун (1989–1990)	
Татьяна Николаевна Правдина (1990–2001)	
Софья Александровна Хралева (1993–2001)	
Лидия Валентиновна Тюшевская (1999 – по наст. время)	
Дмитрий Владимирович Винник (2004 – по наст. время)	
Елена Игоревна Киселева (2005 – по наст. время)	
Специалисты, вышедшие из отдела ПК и работающие в других подразделениях института	
Алехин Андрей Владимирович – главный инженер проектов	
Алферова Нина Викторовна – начальник экспертно-технической службы	
Гуданов Павел Валерьевич – заместитель главного инженера проекта	
Долгов Валерий Сергеевич – главный инженер проектов	
Покрывалов Михаил Леонидович – руководитель СУП	
Путятина Людмила Вениаминовна – главный специалист ЭТС	
Салан Александр Иванович – зам. генерального директора – главный инженер института	
Соловьева Белла Семеновна – руководитель группы отдела ПТЭ	
Шабанова Виктория Валентиновна – главный специалист отдела ПТЭ	

АРХИТЕКТУРА СТАНЦИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА



Одним из важных вопросов в современном проектировании архитектуры подземных объектов метрополитена остается выбор собственного пути развития в сфере стилистических предпочтений. Собственный путь не исключает заимствование из зарубежных или российских аналогов, но не в качестве копирования, а только в случае адаптирования каких-либо концепций к местным условиям и характеристикам. Современные тенденции развития неразрывно связаны с историей и принципиальными приоритетами, заложенными при основании Ленинградского метрополитена. Следовательно, учитывая исторические закономерности, метро нашего города не должно в будущем стать сугубо утилитарным и типовым. В Санкт-Петербурге сложилось устойчивое отношение к архитектуре метрополитена, требующее создания объектов с высокой степенью художественной выразительности.

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

Формирование собственного пути развития

К началу проектирования Ленинградского метрополитена архитекторы, инженеры и строители имели представление на примере московских и зарубежных аналогов о преимуществах и недостатках тех или иных конструктивных систем, принципов сооружения линий метро и об их эксплуатационных характеристиках. Метро с самого начала, наряду с крупнейшими постройками того времени, стало одним из символов процветания эпохи, поэтому архитектурные образы должны были напрямую сопоставляться с его высокой значимостью для общества и государства.

Важным фактором, влияющим на тенденции в проектировании любого сетевого объекта, формирующегося в течение протяженного периода, является первоначальный курс, заданный на ранних этапах развития. Прослеживается закономерность в том, что именно этот изначальный курс остаётся на протяжении дальнейшего развития, сохраняя заданные первичные приоритеты. Так, например, первые метрополитены Европы, создававшиеся как сугубо функциональный недорогой транспорт для мало- и среднеобеспеченных классов, строились изначально экономичными и скромными. Такими они остаются и в настоящее время. Отечественное метро изначально позиционировалось как транспорт для всего народа. Высокая значимость объекта в жизни общества и государства повлияла на выбор конструктивных схем, обеспечивающих формирование просторных подземных помещений, и в большей степени отвечающих принципам художественной выразительности.

Учитывая тот факт, что особенности метрополитенов в различных городах соответствуют принципам, заложенным при их основании, можно судить о сохранении и преемственности специфики проектирования, сложившейся на первых порах. По крайней мере, в вопросах, связанных с созданием индивидуальной эстетики и самостоятельного образа. Ленинградские станции первой ветки, период проектирования и возведения которых пришелся на середину 50-х гг., насыщены историзмами, напоминающими о героических событиях и эпохах процветания города, и выполнены в стилистическом соответствии с архитектурой города.

Проявление региональных особенностей особенно контрастно ощущимо в сравнении метрополитенов разных городов. Так, например, сравнивая богато декорированные станции Ленинграда 50-х гг. с московскими того же времени, становится очевидно отличие в композиции и пропорциях, в стилистике, в детализации. В ленинградском метро исторические образы были заимствованы преимущественно из классической архитектуры самого города. К тому же в сочетании с ордерными классицистическими композициями использовались современные мотивы, не имеющие четких привязок к конкретным регионам и историческим фактам, что тоже довольно характерно для многообразной архитектуры нашего города, включающей в себя на каждом историческом этапе все передовые достижения различных культур.

Первоначальный пик архитектурной выразительности станционных интерьеров и вестибюлей остался ориентиром в последующие исторические периоды. Даже в период

повсеместного отказа от «излишеств» в монументально-декоративном искусстве и в архитектуре 1960–70-х гг., объекты метро в нашем городе не стали типовыми и безликими. Многих архитекторов в эпоху индустриального проектирования привлекала идея создать индивидуальный интересный образ за счет минимальных средств, поскольку для объектов метрополитена это всегда оставалось востребованным.

Творческие достижения

С основания ленинградского филиала московского института «Метропроект» – «Ленметропроект» в 1946 г. часть архитектурных проектов станций и вестибюлей метрополитена стали выполняться силами его сотрудников. Однако на первых порах часть архитектурных замыслов осуществляли различные ленинградские проектные организации, в том числе мастерские Ленпроекта, также принимали участие московские архитекторы.

Первыми самостоятельными работами архитекторов Ленметропроекта были вестибюли и станции «Кировский завод» (архитектор А. К. Андреев) и «Технологический институт I» (архитекторы А. М. Соколов, А. К. Андреев), открытые 15 ноября 1955 г. Следующими авторскими работами стали вестибюли станций «Пушкинская» (1956) и «Чернышевская» (1958), (архитекторы А. С. Гецкин, В. П. Шувалова) первой ветки метрополитена. При этом вестибюль «Чернышевской» стал первым сооруженным в образе архитектурного функционализма, господствовавшего в течение нескольких последующих десятилетий. Наиболее интересными с архитектурной точки зрения объек-

тами в 1960-е и начале 1970-х гг. были вестибюли метрополитена, поскольку в условиях типового индустриального проектирования архитекторам приходилось решать чрезвычайно сложные задачи интеграции функционального облика в историческую застройку города. За этот период было спроектировано и построено несколько десятков станций, среди которых были «Парк Победы», «Фрунзенская», «Электросила» (1961), «Сенная площадь», «Горьковская» (1963), «Василеостровская» (1967), «Площадь Александра Невского-1» (1967), «Московская» (1969), «Елизаровская», «Ломоносовская» (1970), «Звёздная» (1972), «Лесная», «Выборгская», «Академическая», «Политехническая» (1975). Особенно интересен первый опыт лет, связанный с реконструкцией исторической застройки для приспособления исторических зданий под вестибюли метрополитена: наземный павильон станции «Площадь Восстания» на Московском вокзале (1960), «Невский проспект» (1963), «Маяковская» (1967).

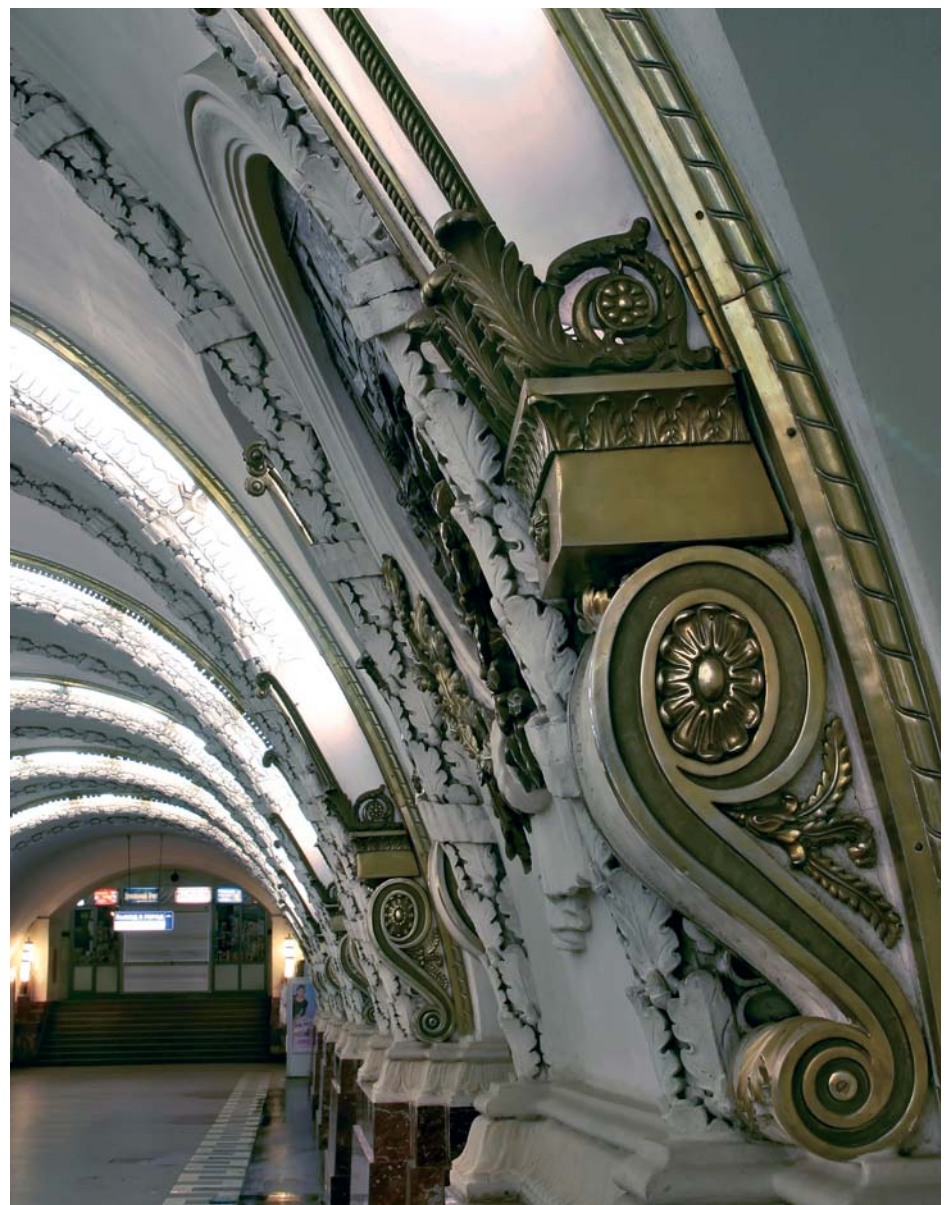
Возрождением станционных интерьеров после продолжительного периода аскетичного функционализма можно считать середину 1970-х гг. Подземные залы снова вводятся более просторными, проектируются и строятся колонные станции глубокого заложения, появляются одноводчатые конструкции, объем единого зала которых настолько велик, что пассажир не ощущает никаких негативных факторов подземного пространства даже при отсутствии специальных архитектурно-художественных средств. Одной из первых станций, декор которых спустя десятилетие минимализма стал восприниматься парадным и выразительным, была колонная станция «Академическая» (архитекторы А. С. Гецкин, В. Г. Хильченко), открытая в 1975 г. Система аркад, выполненная из полированной нержавеющей стали, создает мощный ритм сверкающих дуг, подсвеченных открытыми светильниками в виде факелов.

В 1980-е гг. активно возрождается синтез искусств в архитектуре метрополитена. Вестибюль ст. «Площадь Александра Невского II» (архитекторы А. С. Гецкин, Н. В. Ромашкин-Тиманов), сданный в эксплуатацию в 1985 г. – пример сочетания архитектуры и монументальной живописи. Такое композиционное взаимодействие двух искусств было характерно для первых станций Ленинградского метрополитена.

Проекты, разрабатываемые архитекторами института в 1990-е гг., отличаются особой выразительностью и масштабностью замыслов. Среди них наибольшего внимания заслуживают работы А. С. Константинова: станционные комплексы «Спортивная» и «Чкаловская», проект станции «Адмиралтейская», эскизы которого были разработаны в конце 90-х гг. Множество идей, заложенных в рисунках облицовки, декоративных художественных панно, скульптурных и объемно-пространственных композициях, в полной ме-



Станция «Кировский завод»



Станция «Площадь Восстания»



Станция «Маяковская»



Станция «Спортивная»

ре выявляют темы, заданные названиями станций. Отличительной особенностью работ автора является гармоничное объединение в одном произведении главных видов статических искусств: архитектуры, живописи, скульптуры. Как выпускник Ленинградского института живописи, скульптуры и архитектуры имени И. Е. Репина (изначально называвшийся «Академия трех знатнейших художеств»), А. С. Константинов придавал этому синтезу особое значение, поскольку его художественное

образование основывалось на идеях гармонии и взаимосвязи этих трех искусств.

На сегодняшний день одним из наиболее интересных и выразительных интерьеров метрополитена, выполненных архитекторами Ленметрогипротранса, является станция «Спортивная». Во многом это связано с уникальным инженерным объемно-пространственным решением, разработанным под руководством Н. И. Кулагина. Конструктивные новаторства двухуровневой станции подчеркнуты устройством проемов между верх-

ней и нижней платформами, позволяющих пассажиру ощущать наличие нескольких пространств. В архитектуре это выявлено за счет фонарей, проходящих через перекрытие.

В последние десятилетия в архитектуре подземных залов представлены два основных направления: ретроспективное и авангардное. К последнему можно отнести архитектурные решения, выходящие за рамки классической эстетики, с использованием оригинальных, новаторских средств выражения. Среди характерных примеров – станции «Комендантский проспект», «Волковская» (главный архитектор проекта А. С. Константинов). Ретроспективное направление является наиболее популярным, поскольку обладает широким спектром традиционных художественных приемов. К тому же, включение исторических мотивов отражает взаимосвязь современных станций с первыми, созданными в середине XX века.

Среди многообразия современных проектов, решенных в традициях петербургского метрополитена, одним из наиболее ярких примеров является станция «Звенигородская» (главный архитектор проекта Н. В. Ромашкин-Тиманов). Ее архитектура имеет множество мотивов, посвященных историко-географическим особенностям района размещения станционного комплекса, а именно памяти Семеновского полка, казармы и церковь которого располагались на Звенигородской улице и возле неё. Компози-

ция из декорированных латунными решетками аркад, контрастная цветовая гамма и включение мозаичного панно с героическими историческими персонажами создают ощущение парадности интерьера, что в условиях исторического центра воспринимается как закономерность.

Современные тенденции развития архитектуры

В современном мире в условиях достаточно высокой степени творческой свободы вопрос выбора стилистики и уровня сложности замыслов зависит в первую очередь от значимости объекта, связанной, прежде всего, с территориальной принадлежностью к тому или иному району города, в результате чего проектирование различных станций не объединено никакой общей архитектурной идеей. Станционные комплексы формируются как самодостаточные законченные произведения, не претендующие на стилистическую целостность и взаимосвязь с соседними станциями, создающимися одновременно с ними.

Выявление образности и эстетического разнообразия станционных интерьеров ориентировано на создание психологически комфортной среды в подземном пространстве. Помимо комфорта от восприятия интерьеров индивидуальность архитектурно-художественного решения необходима для улучшения узнаваемости тех или иных станций в развитой подземной сети, поскольку при типовом и тиражируемом индустриальном решении все они будут однотипными и пассажирам будет сложнее ориентироваться в метро.

Существует несколько основных подходов к решению архитектурных задач при проектировании станций и вестибюлей метро, главные из которых:

- создание образной взаимосвязи с характерными историческими, географическими особенностями территории, заимствование стилистических мотивов преимущественной застройки данного района города;
- независимое от района города архитектурное решение, соответствующее современным тенденциям. Характерная особенность – использование современных материалов и форм.

При проектировании по первому принципу формируется образ, имеющий идейное соответствие своему местоположению. Для пассажиров художественное оформление такой станции понятно и закономерно. Второй принцип – оформление станций без образного сопоставления с районом города, поскольку в ряде случаев такая связь условна и поверхностна. При развитии абстрагированной концепции получается самостоятельное и независимое архитектурное решение. В таком варианте роль ассоциативного сопоставления с районом города может быть заменена каким-либо абстрактным, отвлеченным запоминающимся и выразительным образом. Получившийся образ в ходе эксплуатации будет уже в свою очередь со-



Станция «Технологический институт I»

поставляться пассажирами с городским окружением, тем самым задача придания станции индивидуальности и узнаваемости будет выполнена. Но в условиях развития сети метрополитена из-за таких абстрактных образов возникают сложности для пассажиров, затрудняющие ориентирование. Поэтому взаимосвязь с территорией размещения становится все более актуальной.

Во многом привязка к местности осуществляется при помощи приемов символизма. Проявляется это в выявлении образной составляющей, которая отражает ассоциативный ряд данного места благодаря каким-либо характерным географическим и истори-

ческим особенностям. Символизм широко представлен в художественном оформлении: скульптура, мозаика, витражи.

Благодаря использованию разнообразных форм символизма, появляется своего рода последовательность стилистического развития подземных интерьеров и взаимосвязь между различными историческими периодами. Приемы символизма в архитектуре метрополитена, позволяющие создавать индивидуальные образы и придающие объектам идейное и смысловое содержание, являются неотъемлемой характеристикой отечественного метро с момента его основания.

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА



И. В. Культин, начальник отдела автоматики, телемеханики и связи ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»
Е. В. Симаков, к. т. н., гл. специалист

Метрополитены крупных городов являются важнейшим звеном в цепи системы пассажирских перевозок. Как показывает статистика, объем перевозок постоянно растет из года в год, достигнув в среднем по Петербургскому метрополитену 2,5 млн чел в день. Соответственно, повышается концентрация пассажиров в вестибюлях, на платформах и поездах, что влечет повышение требований к безопасности перевозок, включая антитеррористические мероприятия.

Правительством РФ в 2005 г. утверждена «Межведомственная комплексная программа мероприятий по совершенствованию антитеррористической защищенности метрополитенов России».

В рамках реализации данной программы ОАО «Ленметрогипротранс» разработало проектно-сметную документацию на «Комплексную автоматизированную систему информационной поддержки антитеррористической защищенности Петербургского метрополитена (КАСИП АЗМ)». Проектные решения получили положительное заключение ФГУ Главгосэкспертизы и успешно реализованы на действующих станциях, также создан ситуационный центр КАСИП АЗМ (рис. 1).

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации Д. А. Медведева от 31.03.2010 г. № 403 «О создании системы обеспечения безопасности населения на транспорте», Федеральным агентством железнодорожного транспорта (Росжелдор) подготовлена новая целевая программа мероприятий на 2010–2013 гг., в том числе подпрограмма «Метрополитены», утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 30.06.2010 г. № 1285-р.



Рис. 1. Ситуационный центр КАСИП АЗМ

В рамках данной Программы ОАО «Ленметрогипротранс» разработало проектно-сметную документацию на «Комплексную систему обеспечения безопасности населения на объектах Петербургского метрополитена (КСОБ)».

Оснащение станций метрополитена устройствами КСОБ производится в условиях действующего метрополитена без ограничения пропускной способности станций и без

вывода из эксплуатации объектов инфраструктуры.

Вестибюли станций оснащаются следующими системами и устройствами:

- системой интеллектуального видеонаблюдения;
- взрывозащитными контейнерами;
- аппаратурой радиационного контроля;
- системами подавления радиочастотного управления взрывными устройствами.



Рис. 2. Стационарная досмотровая рентгеновая установка

Организируются посты инструментального досмотра при входах вестибюлей с оснащением:

- стационарными досмотровыми рентгеновскими установками (рис. 2);
- стационарными сканирующими рентгеновскими установками;
- портативными обнаружителями паров взрывчатых веществ;
- переносными комплексами обнаружения взрывчатых веществ на основе быстрых меченых нейтронов;
- ручными металлообнаружителями;
- переносными рентгено-телевизионными комплексами;
- рамками металлообнаружителей.

Проектируемые технические средства КСОБ интегрируются в единый комплекс с действующей в метрополитене системой КАСИП АЗМ.

Комплекс технических средств КСОБ объединяется в одну структуру посредством высокоскоростных каналов передачи данных и средств телекоммуникационного взаимодействия (как существующих на настоящий момент, так и проектируемых в рамках КСОБ) и реализовывает следующую многоуровневую структуру.

Стационарный уровень, включающий в себя технические средства КСОБ, расположенные во входных зонах станций (в вестибюлях станций) и обеспечивающий:

- контроль пассажиропотока на предмет возможных угроз террористического характера (использование систем интеллектуального видеонаблюдения, технических средств обнаружения взрывчатых веществ, постов инструментального досмотра);
- возможность принятия оперативных мер по снижению риска поражения пассажиров, находящихся на станции, и разрушения сооружений метрополитена при возникновении соответствующей угрозы (использование систем подавления радиоприемных устройств, взрывозащитных контейнеров);
- автоматическое формирование и передачу информации для перевода (или автоматический перевод) устройств метрополитена в необходимый режим работы, дающий воз-

можность ограничить (или прекратить) пассажиропоток в зоне возникновения потенциальной опасности;

- максимально эффективное взаимодействие при обезвреживании источника потенциальной опасности (передача по выделенным каналам оперативной информации в ситуационный центр метрополитена и возможность передачи в оперативные службы причастных ведомств (ФСБ, МВД, МЧС) о возникновении угрозы и об ее характере).

Уровень централизованного контроля обстановки, реализуемый на основе существующего ситуационного центра метрополитена путем интеграции информационных составляющих КСОБ и КАСИП АЗМ в единую среду централизованного обобщения, обработки, анализа и передачи сведений, получаемых от соответствующих технических средств.

Уровень внешних пользователей, включающий удаленные рабочие места оперативных служб причастных ведомств (ФСБ, МВД, МЧС) и обеспечивающий возможность получения и отображения как текущей, так и тревожной информации, поступающей по каналам передачи данных со стационарного уровня КСОБ и от ситуационного центра метрополитена.

На стационарном уровне системы от соответствующих технических средств КСОБ должна формироваться информация, позволяющая:

- определить характер вероятной угрозы;
- с минимальной задержкой установить место возникновения вероятной угрозы;
- автоматически сформировать и транслировать информационные и управляющие сигналы в соответствующие оперативные службы причастных ведомств.

В настоящее время на Петербургском метрополитене реализована пилотная зона на ст. «Ладожская», оборудованная всем комплексом технических средств КСОБ. Эксплуатация данной зоны позволит как проверить возможность и эффективность использования на метрополитене технических средств углубленного досмотра, так и отработать взаимодействие подразделений метрополитена и силовых ведомств при реализации мероприятий по повышению антитеррористической защищенности.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНСЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ



А. А. Лянда, к. т. н., начальник отдела автоматизации проектирования ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Первые опыты использования вычислительной техники в проектировании начались в 1970 г.

В Ленгипротрансе была установлена большая ЭВМ БЭСМ-4, предполагалось ее использование всеми институтами бывшего Минтрансстроя, в том числе и Ленметропроектом. А зачем нужна вычислительная техника в рутинном, в то время, процессе? О технологии автоматизированного проектирования тогда еще не задумывались, да и такого термина еще не было.

В институте стали думать об автоматизации наиболее трудоемких статических расчетов тоннельных обделок и оптимизации трассы. В то время уже существовали методики и алгоритмы расчета, а головной институт «Метрогипротранс» передал программное обеспечение – очень трудоемкое в использовании, но позволившее в разы сократить затраты на расчеты конструкций. Основной проблемой было то, что ЭВМ того времени не были рассчитаны на взаимодействие с непрофессиональным пользователем. Для подготовки исходных данных требовался труд квалифицированного инженера, а в некоторых случаях даже программиста.

Для выполнения расчетов в институте при техническом отделе была создана группа механизации инженерных расчетов. Ничего другого, кроме расчетов, вычислительная техника того времени и не могла выполнять.

Относительно несложной казалась задача расчетов трассы, требующая большой точности и аккуратности. К ее решению привлекли сторонних математиков и программистов, потратили несколько лет, но оказалось, опередили время. Ничего не вышло. Проектирование требовало диалога человека с маши-

ной, но в то время не существовало подобной техники, да и идеи только зарождались. Надо заметить, что лет через 20 к задаче автоматизированного расчета трассы вернулись. В институте разработали специальный математический аппарат и сделали довольно удачную программу, которую впервые применили для проектирования трассы восстанавливаемого участка на «размыве».

Первые сложности и неудачи привели к пониманию необходимости создания не просто расчетных программ, а разработки технологии выполнения расчетов и «дружественного» интерфейса для проектировщиков. Конечно, в тех условиях, при отсутствии собственных технических средств, его роль выполняли техники группы.

Мало кто знает, что в Ленметрогипротрансе значительно раньше, чем в большинстве проектных организаций, началась автоматизация выпуска смет. Была разработана технология создания и поддержания сметной нормативной базы и выпуска смет на удаленной и очень примитивной машине. Причем это было сделано задолго до внедрения других сметных систем, получивших широкое распространение десятилетием позже и требовавших значительно больших затрат и человеческих ресурсов. Собственная система автоматизации выпуска смет успешно развивалась, пережила смену нескольких поколений вычислительной техники и просуществовала до 2009 г. Благодаря этой системе создана уникальная нормативная база сметных цен по строительству метрополитена.

В 70-е гг. были разработаны программы, автоматизирующие подготовку данных для статических расчетов тоннельных несущих конструкций. Вычислительное ядро про-

граммы институту передала головная организация – Метрогипротранс.

Уместно заметить, что в дальнейшем программа статического расчета тоннелей по методике Н. Н. Шапошникова была запрограммирована специалистами Ленметрогипротранса. При этом был несколько изменен алгоритм расчета, что позволило расширить область применения методики. Весьма удачный интерфейс, простой алгоритм и постоянная доработка программы для адаптации ее к новым операционным системам сделали ее, де-факто, стандартом при статических расчетах тоннельных обделок. Она известна под названием РКб.

К концу 70-х гг. появляется термин САПР – автоматизация проектирования. В институте уже существовало четкое понимание, что важно не просто найти или изготовить набор расчетных программ.

Начало проектирования тоннелей БАМ потребовало разработки принципиально нового программного обеспечения. Институт привлек к сотрудничеству ведущих ученых и специалистов страны. По методикам профессоров Н. Н. Фотиевой и Н. С. Булычева наши инженеры создали программы расчета тоннельных обделок на сейсмические воздействия, которые также стали стандартом в нашей стране. Трудности на «размыве» привели к разработке сложных программных комплексов – моделирование температурных полей в грунте при азотном замораживании и последующем его оттаивании.

В 1986 г. в Ленметрогипротрансе появилась собственная вычислительная техника, обеспечивающая хоть и примитивный, но непосредственный диалог с проектировщиком. Тогда же началась разработка единой ба-

зы данных по проектируемым объектам метрополитена. Появилась открытая архитектура базы. Основные цели заключались в минимизации объемов данных, переносимых из одной расчетной или проектирующей программы в другую. При этом все программное обеспечение имело три уровня. Основные идеи реализованы уже на локальной сети и работают до настоящего времени.

Базовое программное обеспечение поддерживает базу и выполняет основные сервисные функции – печать, просмотр, ручную корректировку. Для удобства работы проектировщика создан унифицированный графический интерфейс. Проектировщик имеет право ручной корректировки только тех данных, которые относятся к его компетенции, например, план и профиль может изменять только трассовик, а расположение изолирующих стыков на пути – специалист по АГДП.

Интерфейсные программы обеспечивают считывание необходимых данных из базы и их подготовку для работы расчетных и проектирующих программ. Диалог с проектировщиком стандартизован и происходит в графическом виде. Структура файлов обмена также стандартна, легко поддается анализу вручную, но скрыта для проектировщика. Каждая расчетная программа имеет интерфейсы для получения данных из единой базы и записи информации в нее. Имеются и собственно расчетные программы, у которых также есть свои средства диалога с проектировщиком.

Такая архитектура позволила объединить программное обеспечение, разработанное на разных платформах в разные годы.

В описанной технологии реализованы пакеты программ проектирования трассы метрополитена, верхнего строения пути, а также пакеты для решения задач, связанных с движением поездов – тяговые расчеты, расчеты систем тягового энергоснабжения, пропускной способности и определения границ рельсовых цепей.

В институте создана и устойчиво работает мощная информационная локальная сеть, объединяющая компьютеры в трех зданиях института. Все расчетные программы, как собственные, так приобретенные, устанавливаются на компьютерах проектировщиков. Лицензии приобретаются, главным образом, сетевые, ограничивающие не количество установленных копий, а число одновременно используемых рабочих мест.

В настоящее время все проектировщики имеют персональный компьютер, подключенный к одной из локальных сетей. Обновление компьютерного парка идет непрерывно. Ежемесячно заменяется четыре-пять системных блоков, а также различное периферийное оборудование. Тем не менее, этот темп не полностью обеспечивает необходимую замену, так как компьютерное оборудование морально устаревает за три года.

В институте уже несколько лет работает электронный архив проектной документации. Вся документация, после ее регистрации в обычном техническом архиве, скани-

руется и помещается в электронный. В институте оборудованы два рабочих места, обеспечивающие в пиковом режиме сканирование и размещение в архиве до 300 чертежей формата А1. Тиражирование документации осуществляется без использования оригинала, непосредственно из электронного архива.

Сложная технология современного проектирования, ужесточение требований к проектируемым объектам и рост объемов работ требуют качественного изменения как самого способа, так и управления проектированием.

В институте в течение года внедряется система TDMS. Опыт института показал бесперспективность внедрения и адаптации подобных систем с привлечением сторонних организаций. Это получается долго, очень дорого, а внесение изменений весьма и весьма затруднительно. Для ее доработки и скорейшего внедрения в институте создана специальная группа, которая оперативно дорабатывает и внедряет актуальную конфигурацию системы.

Возросшие требования к достоверности и темпам проектирования привели к созданию технологии трехмерного проектирования подземных конструкций. Очевидно, что самостоятельная разработка программных средств невозможна. Технология сквозного трехмерного проектирования должна быть похожа на традиционную, объединять несколько отделов, обеспечивать совместную разработку, синхронизацию работ, а также дать возможность автоматизированного выпуска традиционной проектной документации.

В качестве платформы выбрана AUTODESK.

Работа начинается с определения трассы линии в плане и профиле. Для ее проектирования используется CIVIL 3D. Этот продукт создавался, главным образом, для автомобильных дорог. Чтобы адаптировать его для проектирования метрополитена, созданы специальные программы разбивки пикетов на трассе. Результатом является пакет двухмерных чертежей в традиционном виде и трехмерные полилинии осей путей по УПР с разбивкой пикетов – исходных данных для проектирования тоннелей.

После определения варианта трассы производится размещение станционных комплексов. Для решения этой задачи применен AutoCAD Architecture. Анализ и визуализация геометрических коллизий выполняется с помощью комплекса NEVIS Works.

В 2011 г. решены две задачи:

- общая компоновка станционного комплекса;

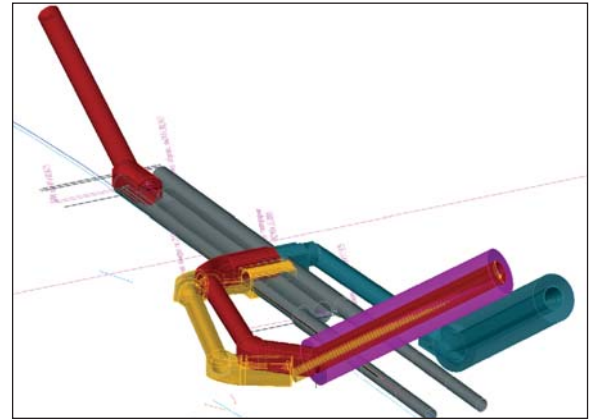


Рис. 1. Компоновка различных вариантов примыкания наклонного хода станции

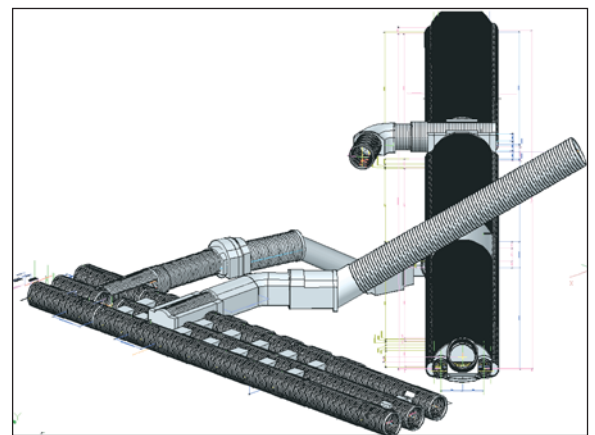


Рис. 2. Трехмерная модель пересадочного узла

- конструирование несущих конструкций и выпуск традиционной документации на стадии «проект».

Технология компоновки опробована на примере одной из проектируемых станций Санкт-Петербургского метрополитена. На рис. 1 показана компоновка различных вариантов примыкания наклонного хода станции. Положение осей пути считается известным. Расположение вестибуля и положение наклонного хода архитекторы определяют на топографическом плане. Поскольку топосъемку институт получает в векторизованном виде, несложно получить совмещенное трехмерное изображение надземных и подземных объектов, которое удобно применять как в процессе компоновки, так и в качестве демонстрационных материалов. Разработанная в институте совместно с фирмой «СиСофт бюро ЕСГ» технология позволяет в разы сократить время принятия решений, дает возможность изготовить чертежи с высокой точностью, без необходимости расчета геометрических параметров вариантов.

На основе выбранной компоновки создается трехмерная детальная модель несущих конструкций (рис. 2), которая позволяет выпустить традиционные двухмерные чертежи и спецификации стадии «проект». В институте уже создана библиотека основных конструктивных элементов, и специалисты конструкторского отдела совместно с отделом автоматизации проектирования тестируют отдельные технологические решения.

Памяти Сергея Николаевича Власова



18 ноября 2011 г. на 86-м году жизни после продолжительной болезни скончался один из самых выдающихся метро- и тоннелестроителей, организатор и идейный вдохновитель Тоннельной ассоциации России С. Н. Власов.

Сергей Николаевич родился 21 июня 1926 г. в г. Борисоглебске Воронежской области.

После окончания в 1950 г. Новосибирского института военных инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Мосты и тоннели», получил распределение на строительство метрополитена в г. Баку, пройдя путь от начальника смены до главного инженера Управления «Бактоннельстроя».

При его участии и непосредственном техническом руководстве построен метрополитен г. Баку (14 км), ряд транспортных и гидротехнических тоннелей в Азербайджане, городские подземные сооружения.

В 1972-1987 гг. Сергей Николаевич - заместитель начальника - главный инженер Главтоннельметростроя Министерства транспортного строительства. Осуществлял техническое руководство строительством метрополитенов и транспортных тоннелей, принимал активное участие в сооружении тоннелей Байкало-Амурской магистрали.

С 1988 по 1990 г. он являлся главным советским консультантом по строительству метрополитена в г. Братиславе и с 1990 г. в течение 20 лет руководил исполнительной дирекцией Тоннельной ассоциации России.

С. Н. Власов - участник и руководитель разработки и внедрения технологии и высокопроизводительного комплекса оборудования для проходки тоннелей, обеспечивающих скоростное строительство метрополитена (Государственная премия СССР 1981 г.); применения новых эффективных конструкторско-технологических решений при строительстве горных железнодорожных тоннелей в сейсмоопасных районах с суровыми климатическими условиями (премия Совета Министров СССР 1991 г.). В мае 1986 г. участвовал в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, за что был награжден орденом Мужества Российской Федерации.

С. Н. Власов - кандидат технических наук, академик Российской академии транспорта, почетный член Академии горных на-

ук, почетный транспортный строитель. Автор более 130 печатных трудов (статьи, монографии, учебник, справочник) и 27 изобретений по различным вопросам тоннельного строительства.

Партия и правительство высоко оценили вклад С. Н. Власова в развитие отрасли, наградив его двумя орденами Трудового Красного Знамени и юбилейной медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», присвоив звания заслуженного инженера Азербайджанской ССР, лауреата Государственной премии СССР и премии Совета Министров СССР.

Сергей Николаевич являлся главным редактором журнала «Метро и тоннели», оказывая помощь в организации материалов, финансовую поддержку. Его авторские статьи по внедрению прогрессивных материалов и конструкций, новейших технологий и механизмов при строительстве метро и тоннелей систематически публиковались на страницах журнала.

Сергей Николаевич был человеком редкой щедрости натуры, активного восприятия самого важного в окружающем, он принадлежал к тем, кто берет на себя основные тяготы и ответственность жизни, сопричастен главным проблемам времени. За плечами С. Н. Власова биография труженика, ученого, организатора крупного масштаба.

В каждом из одиннадцати действующих и еще большего числа строящихся метрополитенов, а также проложенных и прокладываемых за последние два десятилетия транспортных тоннелях - частица его знаний, опыта, энергии и души.

Профессионализм С. Н. Власова, его организаторские способности, богатый производственный опыт, преданность выбранной специальности и тоннельному братству, традициям студенческих лет будут служить эталоном для нового поколения тоннелестроителей.

Светлая память о Сергее Николаевиче всегда будет в наших сердцах.

Тоннельная ассоциация России

ЗАКЛАДНЫЕ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ И МОНТАЖНЫЕ ДЕТАЛИ

для тоннельной обделки из полимерных материалов, изготавливаемые в рамках программы импортозамещения.

Детали, работающие в условиях заданных нагрузок, испытаны в ОАО «ЦНИИС».

Сроки поставок 7-10 дней.

Оптимальное соотношение "цена-качество".



(495) 775-18-00

www.pmserv.com

НАСОСЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Агрегаты одновинтовые серий АПНВ и ОНВ
производительностью от 0,1 до 100 м³/ч



**РАЗРАБАТЫВАЕМ
ПРОИЗВОДИМ
ОБСЛУЖИВАЕМ**

Одновинтовые насосы предназначены для перекачки чистых и загрязненных компонентов малой и высокой вязкости. Конструкция насосов позволяет решать широкий спектр задач при проведении строительных работ.

Агрегаты применяются:

- для инъектирования цементных и других составов
- при контрольном нагнетании
- для подачи бентонита
- для кондиционирования грунта (система пеногенерации, подача полимеров)
- и для других строительно-монтажных работ

Преимущества

- Возможность перекачивать составы, содержащие абразивные включения
- Высокая всасывающая способность
- Отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов обеспечивает надежность при эксплуатации
- Хорошие дозирующие характеристики (например, при смешивании нескольких компонентов)
- Равномерная (без пульсаций) подача состава
- Возможность изменения направления подачи на противоположное
- Простота в обслуживании (нет необходимости регулировки зазоров рабочих элементов насоса при ремонте и повторной сборке)
- Создают давление до 20 бар



**ремонтируем
импортные винтовые насосы**



ГРУНТОВЫЕ АНКЕРА

Винтовые

Прядевые

Фибerglassовые



Применение:

- крепление ограждений котлованов;
- крепление подпорных стен, оползневых склонов;
- устройство и усиление фундаментов анкерными сваями.