

ВОЗМОЖНОСТЬ

прорыва



**МОЩЬ, СКОРОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (ТПМК)
ФИРМЫ «ЛОВАТ» ПОДТВЕРЖДЕНЫ РЕЗУЛЬТАТАМИ
ПРОХОДКИ В САМЫХ СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ**

Тоннелестроители всего мира выбирают Ловат: пять поколений инженерного новаторства, 225 тоннелепроходческих комплексов, 1,000,000 метров пройденных тоннелей, 380 завершенных объектов во всех уголках земного шара.

Через свои офисы в Канаде, Европе, Азии, Австралии, а также через сеть представительских фирм во всем мире Ловат обеспечивает поставку ТПМК с грунтовым и бентонитовым пригрузом для мягких смешанных и скальных пород, обеспечивает монтаж и наладку оборудования, обучение персонала заказчика, сопровождение проходки.

Ловат берет на себя поставку всего вспомогательного оборудования для обеспечения работы ТПМК.

Уже 25 лет Ловат Инк. работает в России через своего представителя фирму «Интерторг, Инк», США.

Ловат Инк. представлен в России

«Интерторг Инк.»: 123056, Москва, Грузинский пер., 3, оф. 63
тел.: (095) 250-0367, 254-2008, 254-6924, 254-3162
факс: (095) 253-9771



LOVAT Inc.



Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России
Московский метрополитен
Московский метрострой
Мосинжстрой

Редакционный совет

Председатель совета

В. А. Брежнев

Заместители председателя:

Д. В. Гаев, С. И. Свирский

Члены совета:

В.П. Абрамчук, В.Н. Александров,
В.М. Абрамсон, В.А. Бессолов,
П.Г. Василевский, С.М. Воскресенский,
В.А. Гарюгин, Б.А. Картозия,
Ю.Е. Крук, В.Г. Лернер, С.Ф. Панкина,
В.А. Плохих, Ю.П. Рахманинов,
Н.Н. Смирнов, Г.Я. Штерн

Редакционная коллегия:

О.Т. Арефьев, Н.С. Булычев,
Д.М. Голицынский, Е.А. Демешко,
Е.Г. Дубченко, О.В. Егоров,
С.Г. Елгаев, А.В. Ершов, В.Н. Жданов,
В.Н. Жуков, А.М. Жуков,
Н.Н. Кулагин, А.М. Петуновский,
В.В. Котов, В.Е. Меркин,
Ю.А. Кошелев, В.В. Неретин,
К.П. Никифоров, А.Ю. Педчик,
П.В. Пуголюк, В.П. Самойлов,
А.А. Севастьянов, Л.К. Тимофеев,
Б.И. Федунец, Ю.А. Филонов,
В.Х. Фомин, Ш.К. Эфендиев

Главный редактор

С. Н. Власов

Тоннельная ассоциация России

тел.: (095) 208-8032, 208-8172

факс: (095) 207-3276

e-mail: rus_tunnel@mtu-net.ru

Издатель

ООО «ТА Инжиниринг»

Лицензия ИД № 04404

тел.: (095) 929-6482, 929-6574

факс: (095) 929-6548

Отдел рекламы: (095) 929-6673

127051, Москва,

Цветной бульвар, 17, оф. 217

e-mail: tunnels@metrostroy.ru

Генеральный директор

О. С. Власов

Редактор

Г. М. Сандул

Компьютерный дизайн и верстка:

С. В. Пархоменко, М. Б. Брилинг

Фотографы:

А. В. Попов, М. Б. Брилинг

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «ТА Инжиниринг» 2003

№ 5 2003

Новости

2-5

Выставки

6

«Подземный город-2004»

Лефортовская транспортная развязка

Открытие последнего участка 3-го транспортного кольца

8

Опыт строительства обхода Лефортово
по тоннельно-эстакадному варианту

10

А. В. Черняков

Станция «Маяковская» Московского метрополитена

Мероприятия по реконструкции станции

16

М. А. Билова

Сооружение второго выхода

19

Н. А. Сорокин

Сооружение конструкции понизительной подстанции
с монолитной железобетонной обделкой

20

С. Е. Ермолаев, Г. П. Бокучава

Юбилеры отрасли

Тоннельному отряду № 6 Мосметростроя - 70 лет

22

Технологии

НАТМ. Опыт применения в Москве

24

С. В. Бочаров

Мониторинг напряженно-деформированного состояния
тоннельных конструкций

27

Н. С. Четыркин, Б. Н. Зведенюк, А. С. Силкин,

А. П. Шемардов, В. В. Чеботаев, Л. А. Воробьев

Горные тоннели

Возведение обделки

и особенности конструкции тоннельной опалубки

30

В. В. Балыкин

Тарманчуканский тоннель

33

А. В. Яковлев, В. Г. Лозин

Гидротехнические тоннели

Развитие подземной гидротехнической отрасли

34

М. Г. Бикинцев

Метрополитены

Тепловизионные диагностические обследования

электрооборудования тяговых подстанций метрополитена

36

В. Ф. Грачев, В. П. Герасимов, А. В. Мизинцев,

Ю. И. Плотников, Ю. М. Равинский, Ю. Г. Сердюк

Из истории строительства

«Размыв». Что было

41

Н. И. Кулагин, К. П. Безродный, М. Л. Покрывалов

Объявления

44

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ:

Лефортовский тоннель
глубокого заложения за день
до открытия
Читайте на стр. 8

ТОННЕЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ В ПРАГЕ

С 18 по 20 ноября в г. Праге прошла Международная конференция "Подземное строительство. Прага 2003", организованная Тоннельной ассоциацией Чехии. Подобные конференции там проводятся регулярно, один раз в три года.

Помимо чешских и словацких специалистов в конференции приняли участие представители соседних с Чехией стран: Германии, Австрии, Швейцарии, Словении, Хорватии, а также Норвегии, Швеции, США, Канады, Бельгии и др. В составе российской делегации были представители как проектных организаций: Гидроспецпроекта и Инженерного бюро Юркевича, так и строительных: Управления строительства № 30, Казанского метростроя, Челябинскметростроя и Бамтоннелестроя.

Для такой небольшой страны как Чехия объем тоннелестроения в ней относительно высок, - за последние годы построено несколько автодорожных и железнодорожных тоннелей, станций Пражского метрополитена. После спада в начале 90-х годов объем инвестиций в тоннелестроение в последнее время, по сравнению с 1995 г., вырос более чем в 10 раз. Это связано, прежде всего, с тем, что имеются обязательства перед Европейским Союзом (куда Чехия вступает в 2004 г.) в отношении развития

транспортной инфраструктуры. Разработана программа строительства автодорог и автодорожных тоннелей, - только в районе Праги к 2009 г. должно быть построено дополнительно более 6 км автодорожных тоннелей.

На применяемых в Чехии технологиях тоннелестроения сказывается влияние соседних Германии и Австрии: большая часть тоннелей в последние годы построена с использованием NATM в его классическом виде.

На конференции был приведен ряд интересных данных о тоннелестроении в других странах. Бывший президент ИТА З. Эйзенштейн (Канада) привел статистические данные о применяемых в мире технологиях при строительстве городских тоннелей:

- щиты с бентонитовым пригрузом забоя - 34%;
- с грунтовым пригрузом забоя - 27%;
- с открытым забоем - 15%;
- щиты других типов - 13%;
- NATM - 9%;
- другие технологии - 2%.

Швейцарская консалтинговая компания, работающая в т. ч. в Китае, привела информацию об объемах тоннелестроения в Китае. В среднем за год там строится: автодорожных тоннелей - 50 км, железнодорожных - 50 км и тоннелей метрополитенов - 150 км.



Представители Дальтоннелестроя, Казметростроя, Челябинскметростроя, УС - 30, Гидроспецпроекта на конференции в Праге

После конференции были проведены технические экскурсии на строящиеся в г. Праге подземные объекты: автодорожный тоннель Мразовка (см. "Метро и тоннели" № 6, 2001 г.) и станцию метрополитена "Кобылица".

Тоннель Мразовка длиной ориентировочно 650 м находится в пределах центральной части города. В двух параллельно расположенных тоннелях будет по три полосы движения автотранспорта. К основным тоннелям примыкают участки с двумя полосами движения. Тоннель строился с использованием классической технологии NATM. По выражению З. Эйзенштейна, о Мразовке за последние десять лет в расчете на 1м³ тоннеля сказано боль-

ше, чем о любом другом тоннеле в мире. На настоящий момент нем завершены проходческие и бетонные работы, ожидаемый ввод в эксплуатацию - 2004 г.

Односводчатая станция метрополитена "Кобылица" как по использованным технологиям строительства, так и по состоянию дел на момент посещения, имеет много общего с автодорожным тоннелем Мразовка.

Необходимо отметить хорошую организацию конференции: все доклады были достаточно высокого уровня, сопровождалась содержательными презентациями; не было нередакого для конференций явления, когда в завершающей части зал заполнен не более половиной участников.



СЕВЕРОМУЙСКИЙ ТОННЕЛЬ СДАН В ЭКСПЛУАТАЦИЮ



5 декабря торжественно открылось движение по самому длинному железнодорожному тоннелю России - Северомуйскому. Его строительство длилось 27 лет. Это уникальнейшее инженерное сооружение, не имеющее по сложности работ аналогов в мире. По протяженности (более 15 км) он занимает пятое место в мире. На мероприятие прибыли заместитель председателя Правительства РФ Владимир Яковлев, Полномочный представитель Президента РФ в Сибирском федеральном округе Леонид Драчевский, президент Республики Бурятия Леонид Потапов, президент ОАО "РЖД" Ген-

надий Фадеев, заместитель министра МПС РФ Вадим Морозов, представители коллегии Минтранса РФ, начальник ВСЖД Александр Касьянов, генеральный директор ОАО "Бамтоннельстрой" Александр Голышев. На открытие были приглашены заслуженные работники ВСЖД и "Бамтоннельстрой", ветераны труда, представители центральных и региональных СМИ, местной администрации. Во время открытия Северомуйского тоннеля на Восточном портале (станция Окускан) прошел митинг, "разрезание" символической ленты и награждение строителей. Затем по тоннелю отправился первый грузовой контейнерный поезд.

Он стартовал от станции Находка (ДВЖД) и по БАМу проследовал до Санкт-Петербурга и в Западную Европу. Этот поезд стал символическим открытием Транссибирского контейнерного коридора.

Одной из проблем при строительстве тоннеля стало обеспечение его бесперебойного и безопасного функционирования. Эту задачу решили ученые Новосибирского конструкторско-технологического института вычислительной техники. Ими спроектирован и реализован программно-технический комплекс, способный контролировать более 1500 параметров: обделки тоннеля и т.п. С помощью этого комп-

лекса диспетчер, находясь на расстоянии трех километров от тоннеля, может постоянно следить за его "жизнедеятельностью", т.е. проводить, так называемый, мониторинг систем автоматизации и контроля, а также поддерживать оптимальные режимы вентилирования и кондиционирования воздуха на всей протяженности тоннеля. Программное обеспечение системы слежения и регулирования, разработанное новосибирскими учеными, позволяет многократно повысить безопасность труда обслуживающего персонала тоннеля и снизить расходы на содержание его энергосистемы на 10%.



КОРШУНОВСКИЙ ТОННЕЛЬ

Объем инвестиций ОАО "Российские железные дороги" (РЖД) в строительство Коршуновского тоннеля (направление Братск-Лена) составит 200 млн руб., сообщает пресс-служба РЖД. Прокладка тоннеля, представляющего собой однопутное сооружение длиной 1 км, рассчитана на 4-5 лет. Работы начнутся в 2004 г.

Как отметили в пресс-службе, в случае увеличения финансирования на 150 млн руб. проходку Коршуновского тоннеля можно начать с двух концов одновременно, что позволит сократить время реализации данного проекта.

ОАО "РЖД" намерено обратиться в Правительство РФ с предложением о реконструкции Коршуновского (направление Братск-Лена) и Крольского (направление Тайшет-Абакан) тоннелей. Такое решение было принято по итогам совещания президента компании Геннадия Фадеева и Президента Республики Бурятия Леонида Потапова. Ориентировочная стоимость работ составляет 7 млрд 687 млн руб. При положительном решении вопроса ОАО "Бамтоннельстрой" обязуется обеспечить использование высвобождаемых строителей Северомуйского тоннеля на строительстве Коршуновского и Крольского тоннелей.



ОМСК

23 октября 2003 г. был пройден последний метр тоннеля между первыми станциями Омского метрополитена: "Кировская" ("Рабочая") находится в районе 2-й Военной ул., а "Туполевская" - у АКО "Полет". За все годы строительства проходчиками пройдено 730 м тоннеля на глубине 10 м.



СТАНЦИЯ «БЕРЕЗОВАЯ РОЩА» БУДЕТ СДАНА В КОНЦЕ 2004 г.

Как сообщал журнал "Метро и тоннели" в предыдущем выпуске, для ускорения темпов строительства Новосибирского метро, генеральным подрядчиком строительных работ на станции "Березовая роща" ОАО "Бамтоннельстрой" уже закуплен и монтируется ТПМК фирмы "Ловат". Габаритные части щита были доставлены в Новосибирск в конце сентября этого года. Сейчас оборудование смонтировано, и щит установлен в специально подготовленной камере, откуда и начнется проходка тоннеля.

Для апробации нового оборудования в Новосибирск прибыли специалисты фирмы "Ловат", которые после пробного запуска займутся отладкой механизмов проходческого комплекса. По технологии эти работы завершатся в течение двух недель. После этого метростроители приступят к проходке тоннеля. До конца текущего года закончатся все поверхностные работы, по ныне перекрытым улицам будет возобновлено движение автотранспорта.

Всего на окончание строительства ст. "Березовая роща" из бюджетов всех уровней планируется выделить более 600 млн руб. Так, в ос-



Разгрузка ТПМК «ЛОВАТ» в аэропорту «Толмачево» в Новосибирске

тавившиеся месяцы этого года, из федерального бюджета выделено около 135 млн руб., из областного и городского бюджетов - около 100 млн руб. В следующем году на эти же цели планируется выделение денежных средств общей суммой около 400 млн руб., причем около 150 млн руб. будут направлены из федерального бюджета, а 200 млн руб. в равных долях профинансируют область и город.

Кроме того, принято решение о начале строительства

еще двух станций Новосибирского метрополитена: "Тусиновобродской" и "Площади Станиславского". Сразу по окончании проходческих работ до "Березовой рощи" ОАО "Бамтоннельстрой" начнет проходку тоннеля до конечной станции Дзержинской ветки "Тусиновобродская". Открытие этой станции планируется в 2005-2006 гг. Строительство конечной станции Ленинской ветки - "Площадь Станиславского" займет около трех лет, а общая сумма затрат составит 1,5 млрд руб.



РАЗВИТИЕ МЕТРОПОЛИТЕНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Губернатор Санкт-Петербурга Валентина Матвиенко провела совещание по вопросу о программе развития метрополитена и других видов скоростного внеуличного транспорта. 28 ноября, на месяц раньше намеченного срока, была закончена проходка второй нитки тоннеля между станциями "Лесная" и "Площадь Мужества". В День города, 27 мая 2004 г., на аварийном участке планируется пустить первый пробный поезд. 30 июня намечено открыть сквозное движение по всей Кировско-Выборгской линии. Одновременно с ликвидацией зоны "Размыва" метростроевцы продолжают строительство новых станций. В конце 2004 г. будет открыта ст. "Комендантский проспект". В 2005-2007 гг. войдут в строй станции "Адмиралтейская", "Спортивная-2", "Балтийская-2". В дальнейшем планируется продолжение строительства Фрунзенского радиуса до станций "Обводный канал" и "Волковская". После ст. "Волковская" воз-

можно строительство надземного варианта метро. В. Матвиенко дала указание до марта 2004 г. подготовить детально проработанную концепцию развития метрополитена до 2015 г. и вынести ее на рассмотрение городского правительства. На совещании рассматривался также вопрос о реконструкции надземных вестибюлей ряда старых станций на инвестиционных условиях с сооружением торговых комплексов.

Губернатор Санкт-Петербурга отметила, что правительство не будет работать с метростроевцами в "силовом режиме, но ожидает технологического ускорения". Кроме того, В. Матвиенко заявила, что проходческий щит стоимостью 16 млн долл. должен выполнять работы для города и после восстановления движения на перегоне "Лесная" - "Площадь Мужества". Если щит не удастся сдать в лизинг, то его следует привлечь к работам на Фрунзенском радиусе, - считает она. В связи с разработкой



Торжественный митинг по случаю завершения проходки тоннелей в зоне «Размыв»

Фрунзенского радиуса губернатор предлагает убрать трамвай из исторической части города, сохранив его на Лиговском проспекте. После ст. "Волковская", которую планируется открыть к 2008 г., линию предлагается вывести на поверхность. По словам В. Матвиенко, необходимо рассмотреть варианты строительства маршрутов скоростного наземного трамвая, который продолжил бы линию метро. Если потребуются, трассу

можно будет закрыть пластиковой оболочкой, - отметила губернатор. Она также предложила петербургским метростроевцам не позднее 2005 г. принять участие в тендерах на строительство метро в других городах России, в частности, в Казани. В завершение заседания она потребовала от метростроевцев освоить до конца 2003 г. дополнительные 300 млн руб., которые удалось получить в федеральном центре.

МТ

WIRTH ПОСТАВИТ ЩИТ В КАЗАНЬ

Казметрострой, занимающийся строительством метрополитена в Казани, заказал щит у фирмы NFM Technologies, входящей в группу WIRTH. Этот ТПМК будет вести проходку вместе с другим, уже работающим под городом, щитом фирмы LOVAT, для сооружения двухочкового тоннеля как части первой линии метрополитена. Казань, столица Татарстана, является 11-м в России городом, где прокладывается метрополитен. Система метрополитена будет иметь три линии длиной 42,4 км, которые намечено построить приблизительно к 2025 г. В Казани собираются ввести в строй часть первой ли-

нии метро к юбилею города в 2005 г.

Тоннелепроходческий щит с грунтовым пригрузом забоя от фирмы NFM Technologies пройдет 1790 м двухочкового тоннеля первой и уже сооружаемой линии метро. Грунты, в основном, состоят из песков и глины и имеют горное давление 3 бара.

На своем заводе в г. Ле-Крезо (Франция) фирма NFM Technologies модифицирует данный ТПМК с грунтовым пригрузом забоя и инъецированием пены, ранее используемый при проходке тоннелей метро в Копенгагене. Щит будет приспособлен к условиям работы в Казани. Его оснастят новым рабочим

органом диаметром 5,89 м (изначально диаметр был

5,71 м). Масса машины около 650 т.

МТ



Руководство г. Казани, Казметростроя и фирмы «ВИРТ» (в центре) после подписания контракта

МЕТРОГИПРОТРАНС ПОЛУЧИЛ НАГРАДЫ

В Москве в ЦВЗ "Манеж" прошел очередной Международный фестиваль "Зодчество 2003", организованный Союзом архитекторов России. На нем было представлено свыше 150 проектов из России, стран СНГ, Балтии, а также из крупнейших областей - Ярославской, Новгородской и др.

Последние 3 года на этот фестиваль свои проекты представляет и ОАО "Метрогипротранс", получая высшие архитектурные награды: в 2001 г. институту за Люблинскую линию был вручен Золотой диплом, в 2002 г. - за станцию "Аннино" - Серебряный. В текущем году на фестиваль был направлен проект станции "Воскресенские горы" Московского метрополитена, который был награжден Серебряным дипломом.

В течение 52-х лет ежегодно в Бельгии проходил салон изобретений и инноваций. Здесь

оцениваются новизна и оригинальность технических решений, научных исследований и разработок.

С 11 по 16 ноября 2003 г. в Брюсселе проходил 52-й Всемирный Салон изобретений "Брюссель - Эврика 2003".

ОАО "Метрогипротранс" впервые принял участие в этом салоне, представив проект участника Краснопресненского проспекта, включающий тоннельный и мостовой участки, которые защищены Евразийскими патентами № 004136 и 004137 и заявкой на изобретение № 200300839. Проект ОАО "Метрогипротранс" был признан лучшим в области строительства и отмечен двумя золотыми и одной серебряной медалями, а также ОАО "Метрогипротранс" был присвоен специальный приз Министра транспорта Бельгии. Руководство



Москвы, ГУП "Московский метрополитен" и ОАО "Метрогипротранс" были награждены орденами Бельгийской палаты изобретателей и "За заслуги в

деле поддержки изобретательства". Эти ордена были учреждены в 1954 году и внесены в официальный реестр Бельгийских орденов.

МТ

МЕТРОСТРОЙ СПБ ПОЛУЧИЛ ВСЕРОССИЙСКУЮ ПРЕМИЮ «ОЛИМП»

17-18 ноября в Москве в Государственном Кремлевском Дворце состоялась ежегодная 8-я Торжественная Церемония награждения Главной Всероссийской премией "Российский Национальный Олимп" лучших социально значимых предприятий, компаний и учреждений России, внесших выдающийся вклад в развитие страны, среди которых был ОАО "Метрострой" Санкт-Петербурга.

Эта премия - общественная награда, отражающая высшие достижения социально-экономической сферы страны. Она включает в себе общенациональную патриотическую идею возрождения былой славы российских промышленников, ученых банкиров, интеллигенции. Организаторы: Фонд "Третье Тысячелетие", Российская академия наук, Всероссийский Выставочный Центр при поддержке Ад-

министрации Президента РФ.

С учетом рекомендаций членов Правительства Российской Федерации, Совета Федерации Федерального собрания РФ, Государственной думы Федерального собрания РФ и руководителей регионов, на основе экспертной оценки Российской академии наук Организационный комитет премии принял решение о присвоении ОАО "Метрострой СПб" звания лауреата премии "Российс-

кий Национальный Олимп" с вручением соответствующих Диплома и наград. Генеральному директору ОАО "Метрострой СПб" В. Н. Александрову в номинации "Строительство. Транспорт. Связь" был вручен Почетный символ - бронзовая статуэтка "Золотой Олимп" и орден "За честь и доблесть". Официальная церемония проходила в Зале приемов Президента Российской Федерации.

МТ

ТПМК «РОББИНС» БЬЕТ РЕКОРДЫ

Мощный тоннелепроходческий комплекс фирмы "Роббинс" на строительстве тоннеля в пригороде Чикаго (США) показывает выдающуюся производительность. Он проходит в известняках крепостью 83-96 МПа тоннель объединенного канализационного выпуска диаметром 5,56 м. Диаметр тоннеля в свету - 4,9 м. Хотя проходка только началась, машина уже побила мировые ре-

корды для ТПМК такого размера, предназначенных для проходки в твердых породах: лучший результат за 8-часовую смену - 45,75 м, за сутки - 116,7 м и за неделю - 474,7 м. Кроме того, машиной побит рекорд по максимальному объему породы, разработанной за 24 ч. - 2836,55 м³ породы в твердом теле.

Тоннель, называющийся "Маленькая трубка мира", является

последней частью большой тоннельной системы, которая строилась около 30-ти лет и потребовала проходки 175 км тоннелей глубокого заложения.

ТПМК фирмы "Роббинс" - модель 1410-251-2 - имеет семь электродвигателей, приводящих режущую головку. Мощность каждого двигателя - 335,6 кВт. Режущая головка оборудована 39-ю дисковыми

шарошками с клиновым креплением. Они имеют диаметр 19 дюймов (483 мм), однако расположены на режущей головке по сетке, обычно применяемой для 17-дюймовых шарошек. Предполагалось, что такое решение позволит достичь большей производительности в ожидаемых условиях, и уже сейчас лучшие надежды подрядчика сбываются.

«ПОДЗЕМНЫЙ ГОРОД-2004»

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ 1-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКИ

21 ноября 2003 г. в конференц-зале комплекса архитектуры и реконструкции г. Москвы прошло заседание, на котором обсуждались вопросы подготовки и проведения 1-й Международной специализированной выставки "Подземный город - 2004".

В нем принимали участие члены Оргкомитета, приглашенные руководители и специалисты ряда проектных и строительных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Тулы и других городов.

Заседание вел первый заместитель руководителя Департамента градостроительной политики, развития и реконструкции г. Москвы Александр Николаевич Левченко.

С докладом о разработанных мероприятиях по проведению выставки выступил директор исполнительной дирекции ТА России, координатор Проекта выставки С. Н. Власов. Он, в частности, отметил, что во исполнение Распоряжения правительства Москвы Тоннельной ассоциацией России и "Глобал Экспо" разработаны Основные положения и деловая программа Международной выставки "Подземный город - 2004" и мероприятия по ее подготовке и проведению.

Уже ведется работа по привлечению членов Тоннельной ассоциации России к участию в выставке и конференции. С этой целью 10 марта 2004 г. пройдет Отчетная конференция Тоннельной ассоциации, что позволит дополнительно привлечь к мероприятиям более 200 человек, а также зарубежных специалистов и, в том числе, руководителей МТА.

На выставке планируется организовать ряд тематических разделов.

Для привлекательности и представительности на выставке предусматриваются также формы показа:

- иллюстрированные плакаты, рекламирующие фирму и экспонируемые возведенные подземные сооружения, технологии работ, оборудование, приборы и т. д.;
- макеты возведенных сооружений, конструкций, элементов работ, в том числе действующего оборудования и приборов;



Президиум заседания оргкомитета по проведению выставки под председательством первого заместителя руководителя Департамента градостроительной политики Москвы А. Н. Левченко (в центре)

- действующие приборы и оборудование, элементы изделий и материалов;

- натуральные образцы машин и механизмов.

Планируется обсуждение технических, технологических и экологических проблем.

Во время проведения выставки, конференции и семинара для участников предусматриваются производственные экскурсии на построенные и строящиеся объекты Москвы с показом новых технологий и того, что сделано.

Генеральный директор "Глобал Экспо" Е. И. Демидова сообщила, что на сегодняшний день разработано практически все: тематика выставки, идеология, научная часть. Активно осуществляется информационная программа, как среди отечественных, так и зарубежных фирм и компаний, работающих в отрасли подземного строительства. Всем организациям, участвующим в выставке, надо очень серьезно подойти к этому важному мероприятию.

В рамках выставки "Подземный город - 2004" будет проходить выставка "Камень", на которой можно будет увидеть очень интересные экспонаты и материалы, идущие на отделку станций и вестибюлей метрополитена.

Президент ОАО "Метротранс" В. М. Абрамсон сказал, что в представленной институтом экспозиции на выставке будут по-

казаны как новые разработки, так и наиболее интересные проекты, реализованные ранее. К выставке планируется привлечь те организации и тех инвесторов, которые активно принимают участие в подготовке проектов и их воплощении в различных городах России и за рубежом.

Б. А. Картозия, первый проректор Московского горного института (МГТУ), предложил провести "круглый стол" с участием ведущих вузов, готовящих кадры для подземного городского строительства, на котором заведующие кафедрами могли бы поделиться опытом и выработать единые подходы к решению этого вопроса. Традиции, которые сохранились в вузах по подготовке специалистов, сейчас уже пришли в противоречия с требованиями производства.

Директор НИИОСПа им. Н. М. Герсманова В. А. Ильичев считает, что для участия в конференции и выставке целесообразно привлечь ведущие западные компании, работающие в подземном строительстве и применяющие собственные интересные решения и технологические разработки.

Генеральный директор АНО "Инвестстройметро" Ю. Е. Крук считает, что Госстрой России должен участвовать не только в открытии выставки, но и в ней самой, а также и в конференции,

т. к. в последние годы, с приходом в руководство Н. П. Кошмана, деятельность Госстроя активизировалась на рассмотрении и решении проблем, связанных со строительством метрополитена в городах России.

В заключение А. Н. Левченко сказал, что "Подземный город - 2004" - это первая такая крупная выставка, проводимая в Москве. На ней будет показано то, что делается в городе на сегодняшний день. А показать действительно есть что. Это, прежде всего, паркинг, выполненный по проекту белорусских коллег на Манежной площади, строительство 3-го транспортного кольца. В Москву приезжают зарубежные специалисты и восхищаются качеством строительства Лефортовского тоннеля.

На выставке будут представлены и новые перспективные технологии, например, использование щита большого диаметра для сооружения тоннеля на трассе уникального проекта "Балтия", проходящей через уникальные заповедные зоны; современные специальные способы проведения работ и т. д.

Планируется пригласить специалистов со всего мира - из Германии, Франции, Японии и поделиться с ними опытом.

Поэтому выставка должна пройти на высшем организационном уровне.



международная выставка

ПОДЗЕМНЫЙ ГОРОД 2004

10 – 13 марта 2004 года

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Выставочная компания «Глобал Экспо»,
Тоннельная ассоциация России, Выставочный Центр «Машиностроение»

При содействии Министерства промышленности, науки и технологий РФ,
Министерства природных ресурсов РФ, Госстроя РФ и организационной
поддержке Правительства Москвы

ЦВЗ «Манеж»

В настоящее время в крупных российских городах, в виду острой нехватки свободных площадей, возникла необходимость рационального использования и подземного пространства города

ЦЕЛЬ ВЫСТАВКИ

- Показать существующие достижения в освоении подземного пространства крупных городов в России и за рубежом
- Привлечь внимание инвесторов к вопросам финансирования работ по освоению подземного пространства
- Показать оборудование и технологии работ в подземном строительстве
- Отразить вопросы промышленной и пожарной безопасности при возведении подземных объектов
- Демонстрация техники и технологий для геопрогноза, охраны окружающей среды и мониторинга за состоянием возводимых конструкций и поверхности при возведении подземных сооружений

ОСНОВНЫЕ ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Объемно - планировочные и архитектурно - строительные решения построенных сооружений при освоении подземного пространства в Москве, городах России и за рубежом. Проекты будущих подземных комплексов
- Технологии подземного строительства
- Техника и оборудование для подземного строительства
- Вентиляционные системы и оборудование
- Подъемно-транспортное оборудование
- Геотехнические и экологические проблемы освоения подземного пространства
- Пожарная и промышленная безопасность при производстве подземных работ
- Эксплуатация подземных сооружений
- Отделочные материалы

Для участия в выставке приглашаются: руководители и специалисты субъектов Федерации и муниципальных образований, занимающиеся вопросами создания городской инфраструктуры и транспорта; российские и зарубежные компании, специализирующиеся на подземном строительстве, проектно-изыскательских работах; производители и поставщики технологий, оборудования и материалов для подземного строительства; инвестиционные фонды; научно-исследовательские и проектные организации.

**Оргкомитет уверен, что выставка «Подземный город 2004»
станет именно тем местом, где смогут впервые встретиться все участники этого рынка:
инвесторы, заказчики и подрядчики - российские и зарубежные**

Для получения дополнительной информации обращайтесь в Оргкомитет выставки:

119019, Москва, Гоголевский бульвар, 23, оф. 17, ООО «Глобал Экспо»

Тел: +7 (095) 101 2274 Факс: +7 (095) 291 2175

E-mail: irb@global-expo.ru, lubavid@global-expo.ru; <http://www.global-expo.ru>



5 декабря 2003 г. мэр Москвы Ю. М. Лужков открыл движение по двум тоннелям в Лефортове, которые, наконец, замкнули 3-е транспортное кольцо от шоссе Энтузиастов у завода «Серп и молот» до Спартаковской площади в районе, примыкающем к Рижским эстакадам.

Открытие последнего участка 3-го транспортного кольца – долгожданное событие для автомобилистов. По замыслу городских властей 35 км дороги без единого светофора должны разгрузить центр города и, особенно, Садовое кольцо от транспорта. Впрочем, рост автопарка города продолжает опережать дорожное строительство. По данным Интерфакса, на строительство кольца уже затратили 4,6 млрд долларов, но это еще не все расходы. До конца года строители обещают открыть несколько недостающих выездов и въездов на кольцо в районе Лефортово. Последний светофор на 3-м кольце по планам исчезнет только к концу будущего года, когда будет построен тоннель на пересечении Суцевского Вала и Шереметьевской улицы. Как сообщили в Москапстрое, строители уже приступили к работе на двух последних участках – Суцевском Валу и на пересечении 3-го кольца с Ленинградским проспектом.



Лефортовский тоннель глубокого заложения

Комплекс транспортных сооружений на новом открывшемся участке 3-го транспортного кольца включает:

- Лефортовский магистральный автодорожный тоннель глубокого заложения протяженностью 3,3 км, проложенный непосредственно под историческим местом «Лефортовская слобода»;

- тоннельно-эстакадной обход Лефортово длиной 3,5 км, от Спартаковской площади до шоссе Энтузиастов.

На обходе расположены два тоннеля общей протяженностью около 2,5 км, эстакада и мост через р. Яузу с подходами общей длиной 299 м.

Движение транспорта от шоссе Энтузиастов в сторону Спартаковской площади осуществляется по Лефортовскому тоннелю, а в обратном направлении – по тоннельно-эстакадному обходу.

После долгих споров и обсуждений такое решение было принято на заседании Научно-технического экспертного совета Тоннельной ассоциации России 26 октября 2001 г. с участием мэра Москвы Ю. М. Лужкова и привлечением самого широкого круга специалистов и экспертов. Впоследствии это решение было оформлено в соответствующее Постановление правительства Москвы.

Корпорация «Трансстрой» была определена Генеральным проектировщиком и Генеральным подрядчиком строительства Лефортовского тоннеля глубокого заложения, а функции заказчика возложены на ООО «Организатор». Строительство и проектирование тоннельно-эстакадного обхода было поручено НПО «Космос» и ООО «Москапстрой», как заказчику.

К строительству этих сооружений были привлечены десятки проектных, строительных и научно-исследовательских организаций, среди которых следует отметить: ЗАО «Трансмонлит», ОАО «Метрогипротранс», институт «Мосинжпроект», ООО «Трансстройтоннель», АО «Мосинжстрой», ОАО ГПР-1, ОАО «Мосметрострой» и его организации (СМУ-4, СМУ-15, ТО-6), ОАО «Мостотрест», ТО-44, ЗАО «Объединение Ингеоком», НИЦ ТМ АО ЦНИИС, УС «Трансмон-



Мэр Москвы Ю. М. Лужков открывает движение по Лефортовскому участку

тажавтоматика» и ряд других при участии зарубежных фирм «Херренкнехт АГ» из Германии и «ВИНСИ» из Франции.

В процессе строительства этих объектов были разработаны и применены новые проектные решения и новые, более совершенные технологии, позволившие существенно повысить темпы и качество работ, вывести отечественное тоннелестроение на новый уровень.

В связи с этим, прежде всего, следует обратить внимание на строительство Лефортовского тоннеля глубокого заложения. Он представляет новый тип городских автодорожных магистральных тоннелей большой протяженности, пересекающих целые городские районы без нарушения сложившейся среды обитания, с сохранением зданий и инженерных сооружений. По протяженности и размерам поперечного сечения он является крупнейшим городским автодорожным тоннелем России и Европы.

Строительство тоннеля осуществлялось в сложных инженерно-геологических условиях,

характеризующихся чередованием напластованных грунтов различной крепости и устойчивости с гидростатическим давлением до 0,3 МПа.

За короткий срок, фактически за три года, был выполнен большой объем проектных, проходческих и строительно-монтажных работ:

- разработано 636 тыс. м³ грунта;
- смонтировано 63 тыс. м³ сборного железобетона;

- уложено в конструкции 44,2 тыс. м³ монолитного бетона и железобетона.

За один год была осуществлена проходка щитовым способом с активным пригрузом забоя глубокой части тоннеля длиной 2222 м со сборной железобетонной обделкой диаметром почти 14 м.

На завершающем этапе в 2003 г. была возведена проезжая часть тоннеля, устроено огнезащитное покрытие обделки тоннеля, смонтированы электротехнические устройства, системы вентиляции и дымоудаления, устройства противопожарной защиты, автоматизированные



Диспетчерский пульт



Эвакуационный коридор



Камера видеонаблюдения



Пожарный насос



Первый вице-президент Корпорации «Трансстрой» В. Л. Шварцман дает пояснения по технологическим устройствам Лефортовского тоннеля глубокого заложения

системы связи, информации и управления движением автотранспорта.

Управление всем ходом строительства в течение всего 3-летнего периода осуществляли ООО «Организатор» и Корпорация «Трансстрой». На регулярно проводимых заседаниях штаба оперативно решались возникающие вопросы, жестко контролировалось соблюдение графика строительства и сроки выполнения отдельных видов работ.

Большую помощь в сооружении тоннеля оказывало правительство Москвы и лично мэр Ю. М. Лужков.

Примененные на строительстве этого уникального транспортного сооружения новые конструкции и технологии включают:

- высокоточные водонепроницаемые конструкции обделок тоннелей с новыми типами гидроизоляции и огнезащитным покрытием;
- использование для безосадочной проходки высокомеханизированного тоннелепроходческого комплекса с гидравлическим пригру-

зом забоя и сепарацией грунта, с компьютерным управлением основными операциями;

- высокий уровень эксплуатационной надежности тоннеля с современными системами вентиляции и дымоудаления, электроснабжения и автоматизированной передачи информации в блок диспетчерского управления для принятия решений и выдачи исполнительных команд;

- эффективные методы эвакуации людей из тоннеля, в случае возможного возникновения пожара, по коридору со свежей струей воздуха на дневную поверхность;

- системы предупреждения и ликвидации очагов возгорания;

- автоматизированные системы организации и управления дорожным движением транспорта в тоннеле.

Построенный в заповедной зоне «Лефортовская слобода» тоннель глубокого заложения и тоннельно-эстакадный обход будут долго и надежно служить москвичам, решая транспортные проблемы нашей столицы.



Эвакуационный выход



Термокабель

Лефортовский участок 3-го транспортного кольца Москвы состоит из двух трасс, каждая с односторонним движением. Одна представляет собой тоннель глубокого заложения от завода «Серп и Молот» в сторону Спартаковской площади, а вторая – тоннельно-эстакадная в направлении от Спартаковской площади до шоссе Энтузиастов в районе завода «Серп и Молот».



А. В. Черняков,
президент НПО «Космос», к. т. н.

Трасса тоннельно-эстакадного участка проходит последовательно: тоннелем мелкого заложения от Бакуниной улицы (под территорией МГТУ) с выходом через пандусный выезд на Лефортовскую набережную, далее – вдоль реки Яузы в уровне земли путепроводом тоннельного типа и новым мостовым переходом через р. Яузу, соединяющим Лефортовскую набережную и Танковый проезд, затем тоннелем мелкого заложения от Красноказарменной набережной до шоссе Энтузиастов с дополнительным въездом с ул. Золоторожский Вал. Такое решение организации транспортного потока, вызванное историко-культурной ценностью района с высокой плотностью застройки, позволяет вписать новый участок в существующую дорожную сеть через съезды на набережные Академика Туполева, Лефортовскую и Красноказарменную, давая возможность решить не только общегородскую задачу, но и разгрузить районную сеть, осуществить дополнительные межрайонные связи. Общая протяженность тоннельно-

эстакадного варианта – 3492 м, в том числе подземная часть – 2733 м (рис. 1).

Зона строительства проходит в условиях плотной городской застройки, часть – в непосредственной близости от реки Яузы. Поэтому важно было выбрать такие технологии проведения работ, которые не изменяли бы гидрологическую обстановку и исключали бы опасность подтопления фундаментов, особенно при проходке тоннелей.

Основные особенности строительства тоннелей мелкого заложения в Лефортове определяются, в первую очередь, большой пропускной способностью (имеют четыре и более полос движения и расположены в исторических центрах):

- тоннели прокладываются внутри плотной городской застройки рядом с домами, обладающими большой исторической и архитектурной ценностью, поэтому требуется уникальная проработка планировочных решений и подход к методикам строительства;

- необходимость иметь большую пропускную способность требует или применения гигантских проходческих щитов, которые в настоящее время практически отсутствуют, или, что наиболее вероятно, строительства

тоннелей мелкого заложения открытым способом с ограниченными возможностями для проходки;

- прохождение трассы внутри районов с плотной сетью коммуникаций требует специальных методов выноса или переустройства городских сетей, попадающих в зону строительства;

- необходимость, в ряде случаев, чрезмерного приближения к фундаментам зданий обуславливает требования не только к специальному усилению фундаментов, но и особого подхода к созданию ограждающих конструкций котлованов или зон закрытой проходки;

- применение систем, обеспечивающих повышенную надежность эксплуатации тоннеля – вентиляции, пожаротушения, автоматических систем управления движением и т. п. требует создания специальной сети сервисных тоннелей или коллекторов, которые могут быть сооружены отдельно или быть объединенными в единую конструкцию с самим транспортным тоннелем;

- наличие в застроенной части города развитой подземной инфраструктуры, такой как подземные гаражи, пешеходные переходы, торговые помещения, требует строительства

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬС ОБХОДА ЛЕФОРТОВО ПО



ТОННЕЛЬНО-ЭСТАКАДНОМУ ВАРИАНТУ

Рис. 1. План трассы Лефортовского участка 3-го транспортного кольца Москвы



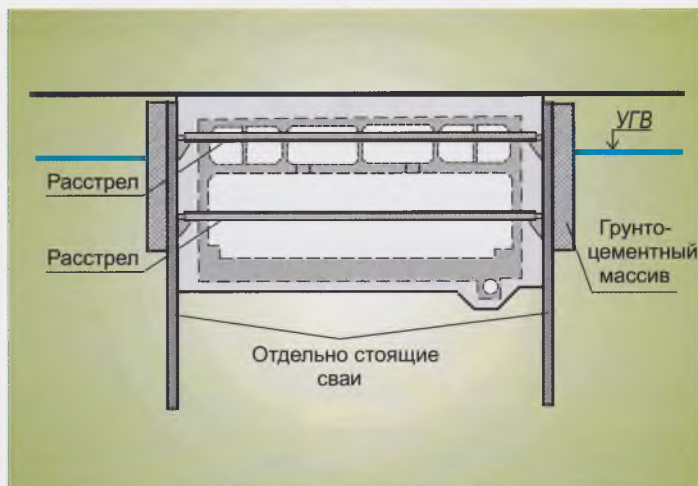


Рис. 2. Распорное крепление котлована (ширина котлована до 30-32 м)

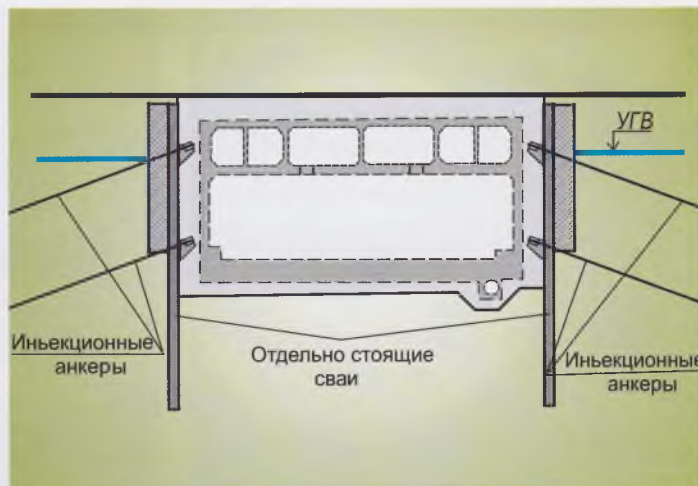


Рис. 3. Анкерное крепление котлована (ширина котлована более 30-32 м)

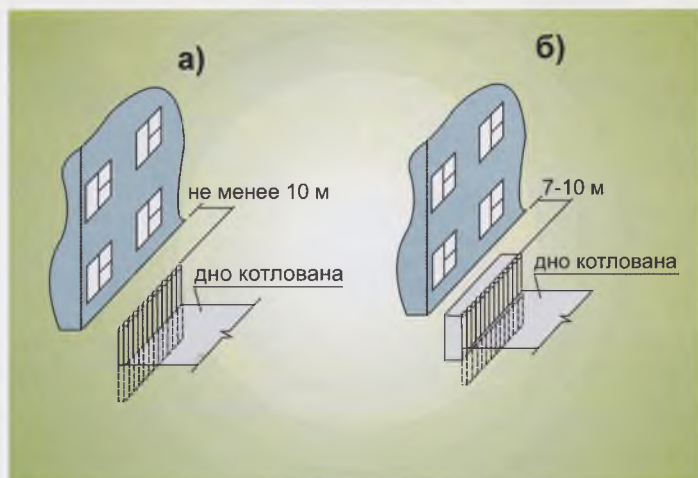


Рис. 4. Способы строительства котлованов с использованием ограждающих конструкций из буресекующих свай: а) - на расстоянии не менее 10 м от фундаментов зданий - стена из буресекующих свай; б) - на расстоянии до 10 м от фундаментов зданий - стена из буресекующих свай, которая возводится после устройства грунтоцементного массива



Рис. 5. Способы строительства котлованов с использованием ограждающих конструкций на основе грунтоцементных массивов: а) - стена из грунтоцементного массива, армированная отдельными стоящими трубобетонными элементами; б) - стена и лоток тоннеля из грунтоцементного массива

автодорожного тоннеля на большой глубине, что приводит к необходимости разработки более сложных технических решений ограждающих и основных несущих конструкций, технологии производства строительно-монтажных работ;

- связанное с проведением работ изменение

гидрогеологической обстановки, в первую очередь, вблизи фундаментов зданий, стоящих не на свайных основаниях, требует специальных подходов для избежания баражного эффекта и, как следствие, подтопления и размывов оснований под фундаментами.

Однако, сказанное выше, далеко не полный

перечень проблем, которые приходится решать при прокладке тоннеля внутри плотной городской застройки. Реально тоннель мелкого заложения в Лефортове является первым в Москве, который строился очень близко к фундаментам зданий. При проходке вблизи корпусов Университета им. Баумана, дома № 10 по Малой Почтовой улице расстояние от границы тоннеля до фундамента доходило до 3-5 м. В отдельных случаях элементы фундаментов зданий попадали в габариты котлованов (стилабатная часть общежития МВТУ, Госпитальный пер., 4/6, к. 2).

Гидрогеологические условия по трассе существенно отличались по длине. Так, в начале трассы, в районе Спартаковской площади грунты представлены последовательно:

- насыпными (строительный мусор, песок, гравий, обломки древесины, старая кирпичная кладка);
- песками пылеватыми от мелких до средних средней плотности с прослоями суглинка и супеси и дресвы;
- суглинками от мягкопластичных до тугопластичных с линзами песка;
- известняком кавернозным средней прочности.

В районе от ул. Малая Почтовая до Госпитального переулка картина несколько меняется. Инженерно-геологический разрез представлен:

Рис. 6. Ограждающая конструкция из металлического трубного шпунта под коммуникациями и дорогами



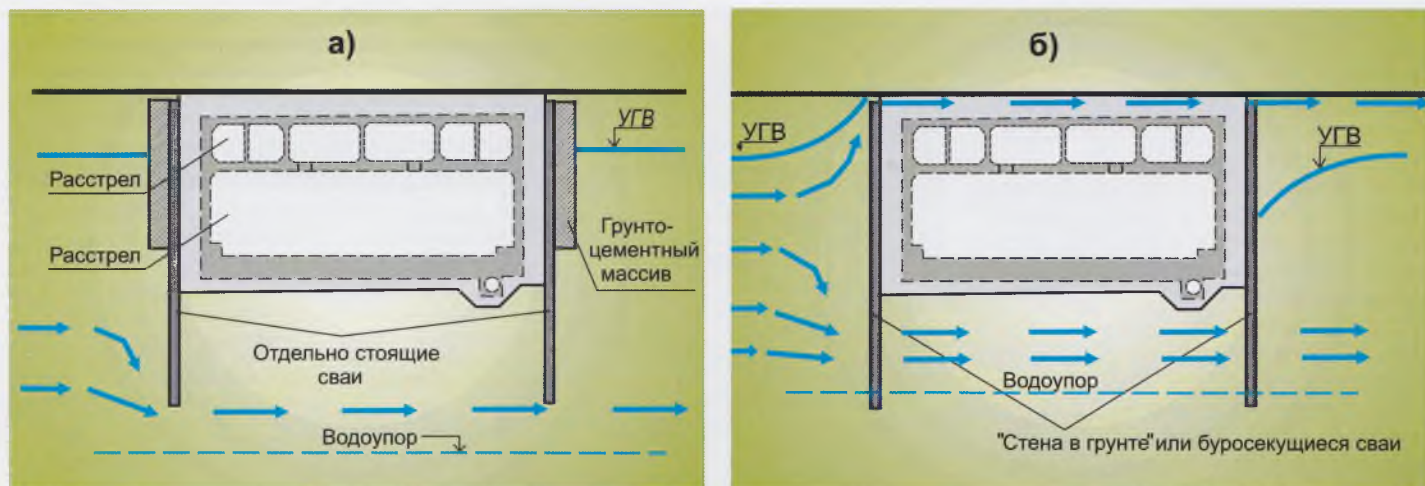


Рис. 7. Схема водопотока в зоне построенного тоннеля: а) - грунтоцементный массив; б) - «стена в грунте»

- насыпным грунтом: строительный мусор, песок, суглинок, супесь, глины разной плотности с включением дресвы;
- песком средней крупности средней плотности с прослоями суглинка, водонасыщенным;
- суглинком текучей и мягкопластичной консистенции с линзами песка и супеси;
- песком от пылеватого до мелкого с включениями дресвы и щебня, водонасыщенным;
- глиной пылеватой полутвердой и твердой консистенции, слюистой с включениями дресвы;
- известняком серым, трещиноватым, окаменелым, кавернозным, малопрочным и средней прочности с прослоями мергеля и глины.

Уровень грунтовых вод на этом участке - 1,5 м от поверхности.

На участке от Госпитального переулка до Университета им. Баумана с глубины 3 м от поверхности – прослой грунтов с высоким содержанием органических остатков мощностью до 1,5 м.

В районе ул. Золоторожский Вал - плывун мореного суглинка с мощностью слоя от 1,5 до 7,6 м.

Весь комплекс проблем, которые пришлось бы решать одновременно с учетом конкретных условий, приводил к тому, что методология строительства трассы существенно изменялась с изменением гидрогеологических условий, окружающих зданий, коммуникаций и пр.

Так, при строительстве тоннеля в Лефортове было использовано более пяти типов ограждающих конструкций и более четырех способов возведения собственно основных конструкций тоннеля (рис. 2-7). В зависимости от расстояния до фундаментов зданий и гидрогеологической обстановки выбирались те или иные конструкции и способы возведения тоннеля. Так, в условиях с сильными подземными течениями в трещиноватых известняках применялась ограждающая конструкция из грунтоцементных свай и отдельно стоящих буровых столбов, которая не только более дешевая и легко возводимая, но и препятствует возникновению баражного эффекта (рис. 7) и подтоплению фундаментов зданий. Практически из естественного водопотока исключается лишь зона, ограниченная габаритом конструкции тоннеля, но не перекрывается весь поток до водоупора так, как это проис-

ходило бы при использовании в данных инженерно-геологических условиях «стены в грунте» или стены из буроосекущихся свай.

Заслуживает внимания применение конструкции, представленной на рис. 4б, где стенка из буроосекущихся свай возводится после возведения стенки из грунтоцемента, отсекающей фундаменты домов и примыкающей к разуплотненным слабым грунтам под фундаментами зданий. Таким образом, удалось без особых проблем пройти в непосредственной близости от фундаментов зданий д. 8 по Госпитальному переулку, д. 10 по Малой Почтовой улице и других.

Можно составить матрицу решений при выборе методологии создания ограждающей конструкции (табл. 1)

Отметим, что разница перед ограждающими конструкциями 3 и 4 (табл. 1) заключается, в первую очередь, в том, что массив из буроосекущихся свай перед массивом грунтоцемента

предпочтителен в крайне разуплотненных грунтах, например, на склонах, на которых имели место оползни, или сильно размытых протекающими в течение продолжительного времени коммуникациями.

Анализируя табл. 2, можно сделать вывод, что область применения щитов большого диаметра строго ограничена областью задач, где основным и непреложным условием является 5-й показатель. А именно, необходимо сохранить без изменения внешний облик наземных объектов, находящихся в зоне строительства тоннеля, так, как это было при проходке под массивом Лефортовского парка с Дворцовым комплексом и т. п., и как это будет на трассе под Серебряноборским лесничеством. Аналогичные решения применяются и в мировой практике, например, во Франции при сооружении тоннеля под Булонским лесом в Париже. Во всех других случаях и по остальным критериям, конечно, предпочти-

Таблица 1

Алгоритм выбора ограждающей конструкции котлована

Тип конструкции	Условия				Высокая стоимость	Решения
	Сложная гидрогеология	Плотная застройка	Наличие подземных строений	Наличие коммуникаций		
Стена в грунте	-	-	-	-	-	+
1. Сплошная стена из буроабитивных свай	-	+	-	+	+	+
2. Отдельно стоящие буроабитивные сваи в массиве грунтоцементных свай	+	+	-	+	-	+
3. Касательные буроабитивные сваи в массиве грунтоцемента	+	+	+	+	+	+
4. Ряд буроосекущихся буроабитивных свай перед сплошным массивом грунтоцемента	+	+	+	-	+	+

тельное строить тоннели открытым способом с ограниченными участками проходки закрытым способом.

В процессе проведения работ приходилось многократно изменять и комбинировать способы возведения ограждающих конструкций и, как видно из предлагаемой матрицы (табл.1), обобщающей основные принципы применяемых решений, мы получили достаточно устойчивую систему прокладки тоннеля в условиях плотной городской застройки, обеспечивающую оптимизацию не только надежности, но и сокращения сроков и стоимости строительства.

Мы одновременно разработали целую систему специальных добавок в составы грунтоцементных свай, позволяющих формировать плотные массивы практически в любых грунтах. Добавки на основе КДСЦ использованы для ускорения динамики твердения грунтоцементного материала с одновременным увеличением конечной прочности на одноосное сжатие. Составы ВКЖ и КДВ созданы для устройства грунтоцементных свай в различных типах переувлажненных грунтов и консолидации пьлювунов. Инъекционные составы на основе ВКЖ и КДВ могут быть поданы либо непосредственно с водно-цементной суспензией через сопла монитора Джет-установки, либо по двухстадийной схеме. В последнем случае состав закачивается по манжетно-пакерной технологии, а затем струей цементной суспензии, подаваемой по Джет-технологии, распределяется в объеме массива, либо оба состава поступают через буровой став, но из различных емкостей. В табл. 3 приведены рекомендации по применению различных систем в зависимости от гидрогеологической обстановки в зоне строительства.

Таким образом, комбинируя многие опробованные решения можно вполне успешно решить задачи в кратчайшие сроки. В принципе, говоря о строительстве тоннелей открытым способом, безусловно, основной проблемой является правильный выбор и возведение ограждающей конструкции, позволяющей впоследствии не только быстро и просто произвести разработку грунта, но и строить сам тоннель. Вследствие этого нам представляется необходимым и оправданным перенести основную тяжесть в разработке и реализации проектных решений на строительство того, что в первую очередь отличает тоннелестроение, то есть котлованов, обеспечивающих оптимальную и безопасную работу при проходке тоннеля и минимальное воздействие на гидрогеологию после ее завершения.

Современные оборудование и технологии предоставляют возможность создания ограждающих конструкций и осуществления проходки тоннелей в различных условиях, даже в том случае, когда прямая разработка котлована под тоннель открытым способом невозможна или требует слишком высоких финансовых затрат. В качестве примера можно привести «прокол» под действующими железной или автомобильной дорогой, строительство под зданиями или районами плотной застройки с развитой сетью коммуникаций (рис. 6). В последнем случае перекладка коммуникаций требует не только высоких финансовых затрат, но и представляет опасность для жителей

Таблица 2
Сравнительные характеристики тоннелей, сооружаемых открытым способом и проходкой щитом большого диаметра

Основные показатели, качественно влияющие на выбор варианта	Тоннель, возводимый открытым способом	Строительство тоннеля ТПМК большого диаметра
1. Возможность строить тоннели большой пропускной способности 4 и более полос движения	Практически не ограничена, требует лишь специальной планировочной проработки	Ограничена диаметром ТПМК и требует многократной проходки или увеличения диаметра щита
2. Сроки строительства	1,5 года, из них: 3 мес. - подготовка территории; 1 год - строительство и монтаж оборудования; 3 мес. - наладка оборудования	2,5 года, из них: 3 месяца подготовка территории для стартовой камеры; 6 мес. строительство камеры и монтаж ТПМК; 1 год - проходка и строительство подходов; 3 мес. отделка; 3 мес. монтаж оборудования
3. Стоимость строительства	С увеличением количества полос движения стоимость следующей полосы понижается. Затраты происходят лишь в случае дополнительных переносов коммуникаций и пр. (п. 1)	Увеличение полос движения увеличивает все затраты, т.к. требует увеличения числа проходок или растет в геометрической прогрессии из-за необходимости приобретения ТПМК больших диаметров новых конструкций
4. Сложность проведения работ	Чрезвычайно сложна, т.к. требует большого количества квалифицированных специалистов, способных оперативно принимать решения	Относительно невелика, т.к. все вопросы решаются на стадии проектирования и создания самого ТПМК
5. Влияние на окружающую городскую инфраструктуру	Значительное, т.к. требуется расширять территорию по всей длине строительства и проходить под фундаментами зданий	Только по длине подходов, что не более 30% его длины и относительно легко расчищается
6. Надежность и простота эксплуатации	Относительно высокая за счет стабильности конструкций и легкости подхода ко всем отсекам	Требует сложнейших систем управления и высокого контроля за состоянием обделки тоннеля. Серьезных мероприятий и наличия защитной зоны, сравнимой по величине с радиусом тоннеля
7. Возможность развития транспортных артерий города, связей с существующими транспортными потоками	Легко изменяемая конфигурация трассы путем организации въездных и выездных тоннелей как на стадии строительства, так и после его окончания, подсоединения дополнительных трасс или расширения существующих. Возможность строить непосредственно под зданиями и вблизи них гаражи, стоянки, торговые помещения и пр.	Чрезвычайно сложно, т.к. требует специальных переходных камер на этапе строительства и невозможно после его завершения т.к. приведет к нарушению устойчивости обделки (п. 6)
8. Ремонтнопригодность	Относительно легко ремонтируется при необходимости	В случае нарушения обделки практически неремонтнопригоден, особенно в неустойчивых грунтах

Таблица 3
Рекомендации по применению химических добавок при укреплении различных типов грунтов

Добавка	КДСЦ	КДСЦ-П	ВКЖ	КДВ	КДВ-цем	ВКЖ-цем
Пески	Водонасыщенные	+	-	+	+	+
	Пылеватые	+	-	-	-	-
Супеси	+	+	+	+	+	+
Суглинки	+	+	+	+	+	+
Глины пластичные	+	-	-	-	+	+
Высокое содержание органических остатков	+	-	-	-	-	-
Каменные породы, трещиноватые	-	-	-	+	+	+
Пылуны	-	-	-	-	+	-

района из-за большого количества раскопов. С учетом конкретных градостроительных условий возможно строительство тоннеля как комбинацией нескольких зон проходки закрытым и открытым способом, чередующихся стартовыми и приемными камер, что позволяет сооружать довольно длинные участки под защитой экрана из труб, используя относительно недорогие щиты малого диаметра.

Основными особенностями строительства под защитой экрана из труб является проведение закрытой проходки тоннеля участками длиной 300-400 м в зонах, где невозможна разработка открытым способом, т. е. в условиях плотной городской застройки, когда применение щитов большого диаметра и строительство шахт для их старта и приема невозможно или нецелесообразно.

Второй проблемой, которую необходимо решать после создания экрана из труб, является непосредственно проходка тоннеля. Известно множество способов, но нам кажется, что мы нашли и применяем решения, позволяющие сделать проходку достаточно простой, технологичной и не приводящей к каким-либо серьезным просадкам дневной поверхности. Последнее обстоятельство особенно важно в случае работы под зонами с транспортным движением и при проходке в слабых грунтах, водонасыщенных песках, супесях, плывунах и других, меняющих свое реологическое состояние в зависимости от влажности. Мы используем технологию, позволяющую закрепить практически любой массив грунтов в теле тоннеля перед его разработкой с использованием высокопроизводительных установок горизонтального Джет-граутинга и разработанных нами соответствующих систем добавок. Укрепленный массив грунта дает возможность при проходке получить практически вертикальный забой, что существенно снижает рабочий



Рис. 8. Выемка укрепленного массива грунта

Таблица 4
Стоимость сооружения 1 м² тоннеля

Способ сооружения	Стоимость 1 м ² тоннеля, тыс. рублей
Открытый способ	3,5-4,5
Проходка под защитой экрана из труб	4,5-5,5
Проходка ТПМК диаметром от 8 м	5,5-6,5

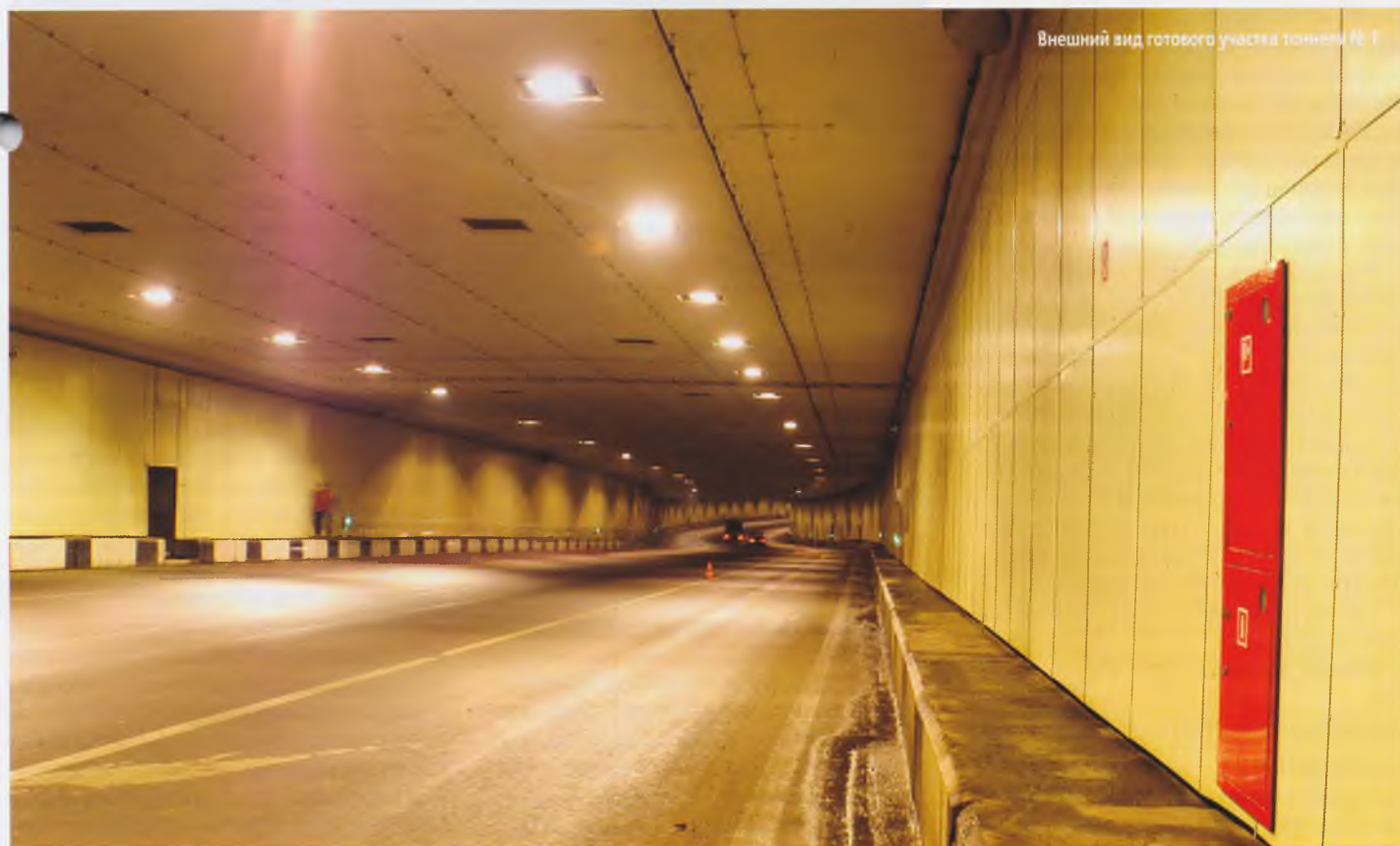
пролет труб экрана, а так же применять высокопроизводительные комбайны для горнопроходческих работ. В этом случае скорость разработки грунта практически лимитируется лишь скоростью бетонирования тоннеля на уже сооруженном участке, так как в процессе проходки перед комбайном находится укрепленный массив грунта, а безопасность работ обеспечивается бетонной обделкой пройденного участка (рис. 8).

Длина зоны разработки определяется в зависимости от диаметра труб защитного экра-

на, их характеристик, способа укрепления и глубиной проходки и колеблется от 3-5 до 8 м.

Выбор технологии сооружения тоннеля основывается на технической целесообразности конкретного способа и экономической привлекательности выбранного проекта. В табл. 4 приводится стоимость сооружения 1 м² тоннеля шириной 16 м, высотой 5 м и длиной от 40 до 100 м. Представляется, что гибко используя арсенал различных методов строительства котлованов, нам удалось добиться желаемого результата.

МТИ



Внешний вид готового участка тоннеля № 1

МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИИ «МАЯКОВСКАЯ»

М. А. Белова,

ГИП ОАО «Метрогипротранс»

Станция «Маяковская» – одна из красивейших станций Московского метрополитена, построена в 1938 г. по проекту архитектора А. Н. Душкина и является памятником архитектуры.

Неоднократными (в 1983 г. – службой тоннельных сооружений, а в 1986 и 1996 г. – тоннельно-обследовательской испытательской станцией) техническими осмотрами станции «Маяковская» Замоскворецкой линии Московского метрополитена были установлены нарушения гидроизоляции обделки (появление течей грунтовых вод) и коррозионные повреждения металлоконструкций.

В настоящее время, в связи с прогрессирующим развитием дефектов и ухудшением состояния конструкций станций, принято решение о проведении работ по ликвидации течей грунтовых вод и усилению конструкций станции.

Основные сведения о станции «Маяковская»

Станция «Маяковская» колонного типа со сборной обделкой из чугунных тубингов, состоящая из трех тоннелей: двух боковых диаметром по 9,5 м и расположенного между ними среднего, свод которого на 2,5 м выше сводов боковых тоннелей и опирается на их обделку, которая поддерживается по линии опирания системой металлических прогонов и колонн. Расстояние между колоннами 4,2 м. Они опираются на нижний прогон. Для увеличения устойчивости верхних прогонов в среднем тоннеле между колоннами установлены металлические ригели, которые бетонировались с целью увеличения общей жесткости тоннельной конструкции станции.

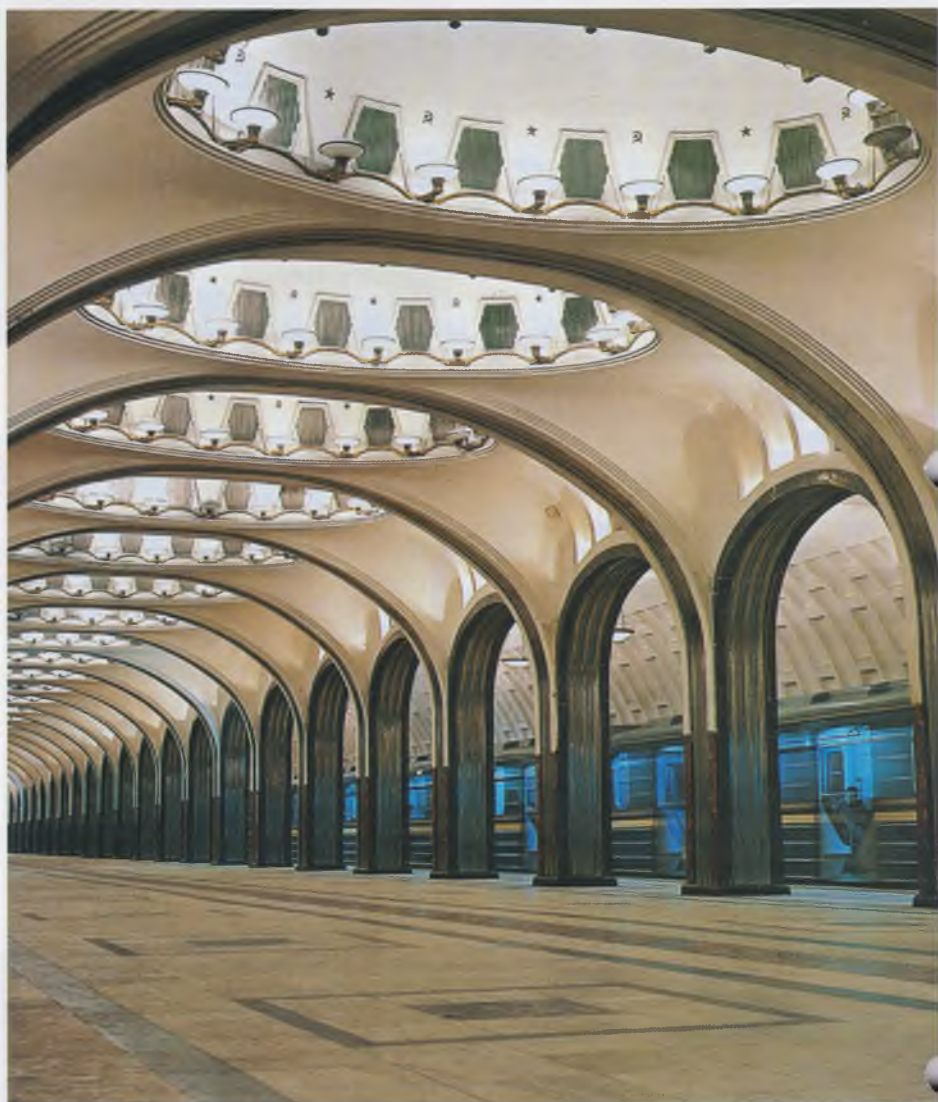
Облицовка конструкции – нержавеющая полированная рифленая сталь, полосы которой выгнуты вдоль продольных и поперечных овальных арок, составляющих основу конструкции и архитектурного облика станционного зала. Рифленые стальные полосы в продольных арках вправлены в мрамор, а в поперечных арках обрамлены штукатурными полосами. В оформлении использованы самоцветы. По своду среднего зала располагаются 36 куполов, с помощью которых решено основное освещение станции.

Глубина заложения до свода среднего тоннеля – 27,5 м.

Станция введена в эксплуатацию в 1938 году.

Инженерно-геологические условия строительства

Станция строилась в сложных инженерно-геологических условиях, обусловлен-



ных распространением юрских глин в сводовой части и наличием в верхней части грунтового массива над станцией толщи песков, являющейся водообильным горизонтом грунтовых вод. Глины оксфордского яруса являются неблагоприятной средой для строительства в них станционных тоннелей, т. к. они активно взаимодействуют с водой, быстро размокая и теряя при этом прочность и устойчивость.

При рассмотрении геологических разрезов участка станции, которые были приняты для проектирования в 1937 г., обнаруживается, что в кровле глин оксфорда не указано наличие прослоя водоносных супесей с фосфоритами мощностью около одного метра.

Отрицательная роль этого прослоя заключается в том, что он способствует увеличению свода обрушения и, кроме того, может являться дополнительным источником воды, расположенным близко к своду станции.

В результате деформации глин в заброс и в грунтовом массиве на поверхности обычно образуются значительные мульды оседания.

Для предотвращения этих процессов при проходке боковых тоннелей щитами, а среднего тоннеля – полущитом грунты массива выше свода среднего тоннеля были закреплены посредством искусственного замораживания.

Замораживание было применено также и при строительстве эскалаторного тоннеля и шахтных стволов.

Несмотря на принятые меры при проходке развивались деформации грунтов, которые завершились образованием на поверхности мульд оседания. Глубины последних составили до 750 мм над монтажной щитовой камерой при разработке калотты и до 100 мм над станцией.

Монтажная щитовая камера является наиболее высоким сооружением в станционном комплексе, и ее свод при строительстве отделялся от слоя вышележащих водо-

носных супесей слоем оксфордских глин мощностью всего 0,3-0,5 м. При такой малой мощности водоупора вполне естественным было появление течей со свода камеры (архивные данные).

Поскольку в монтажной камере была сооружена монолитная бетонная обделка, нет оснований считать камеру одним из источников поступления грунтовых вод на станцию в настоящее время.

Следует отметить, что не удалось получить из архивных материалов АО «Метротранс» достоверную информацию по вопросу о том, когда, до замораживания грунтов или после, проводилось строительство камеры.

Судя по значительным деформациям поверхности можно предположить, что сооружение камеры велось в незамороженных грунтах.

Состояние грунтового массива в настоящее время

Строительство станции в значительной степени изменило состояние грунтового массива. Главные факторы, вызвавшие это изменение, следующие (в порядке воздействия): бурение скважин для замораживания, искусственное замораживание грунтов, горнопроходческие работы, естественное оттаивание грунтов и загрязнение грунтовых вод.

Бурение скважин для искусственного замораживания грунтов над станцией

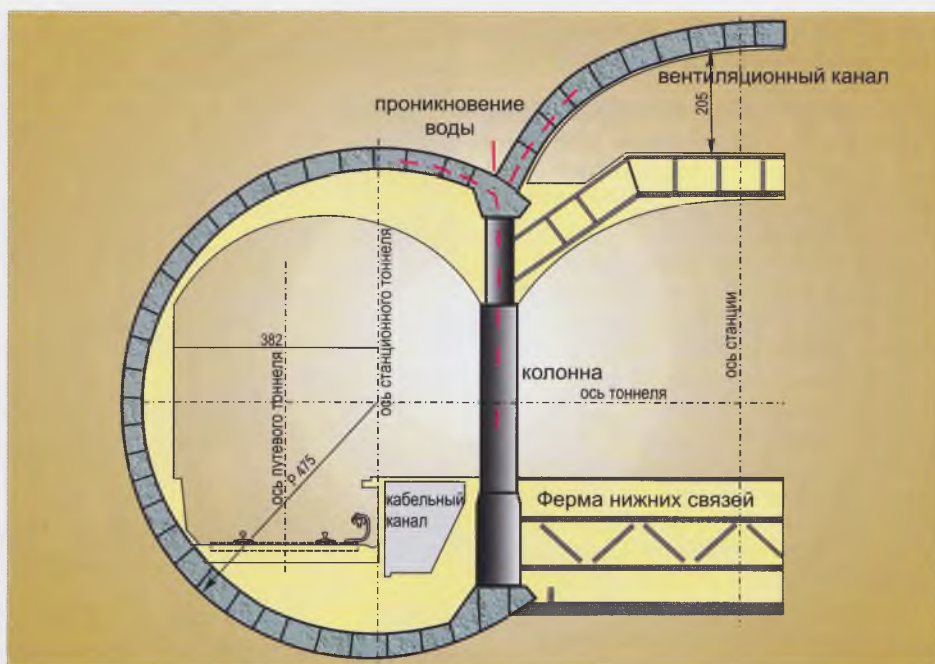
С целью замораживания грунтового массива над станцией и в зоне эскалаторного тоннеля было пробурено весьма значительное количество вертикальных и наклонных скважин проектной глубиной до 27-30 м.

Замораживанию подверглись пески влажные и водоносные, юрские суглинки, супеси и глины. Между нижней границей замораживания и сводом среднего тоннеля оставлен зазор незамороженных глин оксфорда проектной мощностью 2,0 Ом.

В настоящее время неизвестно в каком состоянии находятся стволы скважин, извлечены ли были трубы, затампонированы ли после завершения замораживания.

Представляя себе технический уровень выполнения работ по замораживанию в те годы, можно полагать, что замораживающие трубы из скважин по окончании работ не извлекались, и к настоящему времени они разрушены коррозией.

Несомненно, что в любом случае скважины нарушили целостность водоупорных пород, отделяющих зону станции и эскалаторного тоннеля от горизонта грунтовых вод. Стволы скважин после оттаивания грунтов стали проводниками грунтовых вод в зону станционных тоннелей, способствовали приближению воды к обделке. Если скважины не были затампонированы, а трубы со временем разрушились, то после оттаивания стволы скважин постепенно заполнялись или песком или глинистым материалом. При этом в массиве могли обра-



Поперечное сечение ст. «Маяковская»

зоваться вертикальные или наклонные (вдоль эскалаторного тоннеля) зоны разуплотнения грунта.

Таким образом, собственно бурение многочисленных скважин для замораживания стало первым негативным воздействием на состояние грунтового массива.

Горнопроходческие работы

После завершения горнопроходческих работ максимальная величина оседания земной поверхности над монтажной щитовой камерой составила до 750 мм, а над станционными тоннелями – 100 мм.

Основываясь на имеющемся опыте, можно полагать, что при проходке в замороженных глинах и суглинках величина оседания земной поверхности составляет около 40-50% от окончательной ее величины.

Естественное оттаивание грунтов в массиве

Процесс оттаивания грунтов после отключения морозильных установок в инженерно-геологических условиях рассматриваемого участка продолжается около года. По мере оттаивания вода, образующаяся из линз льда, обычно вытекает по системе трещин и под действием собственного веса грунта происходит закрытие трещин. Оттаявший грунт имеет меньшую прочность; происходит его уплотнение, сопровождающееся медленными и длительными оседаниями земной поверхности, повышая пластичность глин, и даже меняется их химический состав.

При строительстве станции «Маяковская» оттаивание грунтов в массиве и их консолидация в течение неопределенно долгого времени явились последним этапом изменений его состояния.

Таким образом, различные строительные факторы, вызвавшие негативные инженерно-геологические процессы, отсутствие сведений о фактических условиях строительства станции, а также невозможность в

настоящее время из-за градостроительных условий выполнить специальные исследования состояния грунтового массива позволяют дать оценку последнего только на уровне прогноза.

1. Грунтовый массив претерпел два основных этапа изменений:

- первый (время строительства) – нарушение целостности массива под влиянием бурения замораживающих скважин и деформаций грунта при проходке;
- второй (от времени завершения строительства по настоящее время) – длительный период оттаивания грунтов и их консолидация (уплотнение, уменьшение трещиноватости).

2. Во время строительства произошло сильное загрязнение грунтовых вод утечками хлористого кальция при замораживании грунтов. Это обусловило агрессивность грунтовых вод к бетону и арматуре, а также заполнению карбонатом кальция дренажных трубок. Отмечается весьма медленное уменьшение агрессивности воды.

Мероприятия по ликвидации течей

Учитывая значительный опыт по ликвидации течей в тоннелях различного назначения можно считать невозможным осуществление полного их устранения восстановлением гидроизоляции в местах появления течей или нагнетанием гидроизоляционного материала в эти места. Скорее всего, течи сохранятся, переместившись в другие места.

Поэтому, исходя из предложенной модели поступления грунтовых вод на станцию, наиболее рациональным будет «отсечение» заобделочного потока грунтовых вод на участке сопряжения эскалаторного тоннеля и станции.

Здесь на первой стадии должна быть выполнена работа по нагнетанию за обделку по всему контуру сооружения гидроизоляционного материала с целью изоляции собственно станции от эскалаторного тон-

неля. Если эта задача будет решена, то течи иссякнут, так как будут лишены основного источника питания.

Последующие работы: водоподавление и восстановление гидроизоляции эскалаторного тоннеля, восстановление гидроизоляции станции.

Организация работ

Работы по устранению течей выполняются в условиях действующей станции в ночное время после прекращения движения поездов и снятия напряжения. В качестве генеральной подрядной организации привлекается строительно-монтажное управление ОАО «Мосметрострой».

Ликвидация течей на платформенном участке «Маяковская» планируется производить из вентканала, который проходит в своде центрального зала со стороны сопряжения свода станций с натяжной камерой.

Однако при проведении нагнетания растворов за обделку боковых тоннелей потребуются остановка движения поездов и закрытие станции.

Нагнетание в среднем тоннеле производится в две стадии. Первая – нагнетание раствора за обделку из чугунных тубингов ведется по всему контуру свода среднего зала на участке длиной 6 м (10 колец).

Поскольку отсутствуют данные о характере заобделочных пустот, работы по водоподавлению течей будут иметь поисково-экспериментальный характер.

Предполагается проведение первичного нагнетания при обнаружении значительных пустот за обделкой и контрольного нагнетания, целью которого является полное исключение притока воды.

Рецептура растворов подбирается в лабораторных условиях с учетом водопоглощения тампонажных скважин, при этом предусматривается постепенный переход в процессе закачивания от более подвижных к более густым растворам.

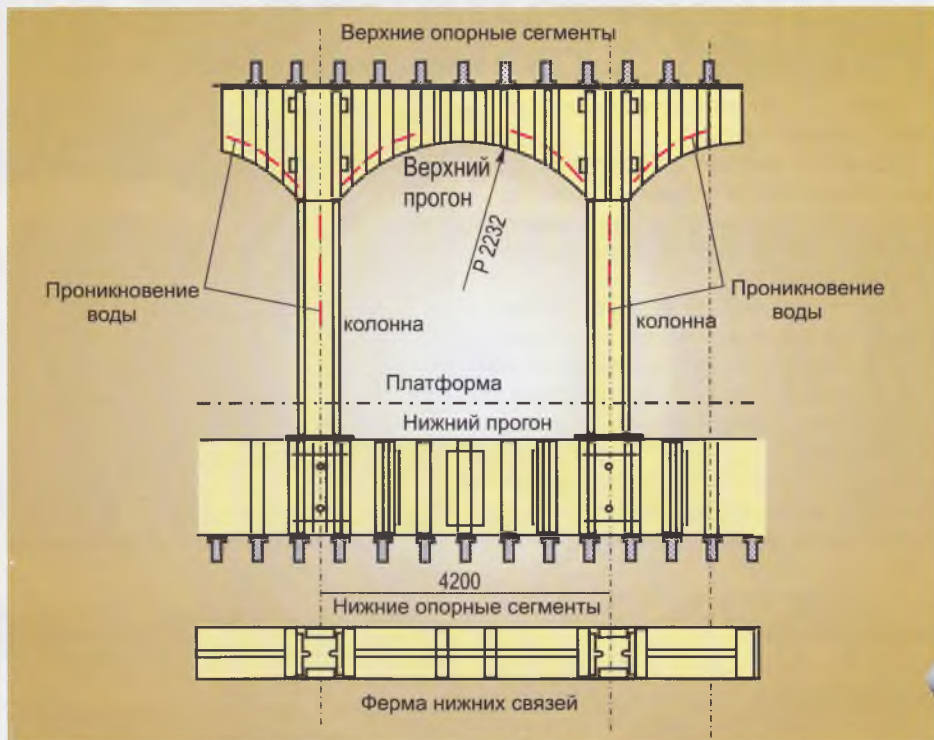
Работы должны вестись в условиях тщательно проводимых наблюдений за состоянием эскалаторного тоннеля с натяжной камерой и боковых станционных тоннелей. При обнаружении течей, капелек или других признаков фильтрации воды в эти сооружения работы прекращаются и продолжаются после изменения рецептуры закачиваемого раствора (добавление ускорителей схватывания раствора и т. д.).

Для ведения работ по отсечению воды перфоратором или электросверлом бурятся скважины через пробковые отверстия длиной 0,5 м. В тубингах, сопрягающихся с обделкой боковых тоннелей, первоначально разбуривается спинка, через которую устраиваются скважины длиной примерно 1 м до цементного камня.

Через эти скважины нагнетается раствор.

Вторая стадия нагнетания раствора за обделку на участке длиной примерно 141 м ведется через фасонные тубинги свода.

Нагнетание и бурение скважин осуществляется из вентканала. Для приготовления раствора и нагнетания используются раство-



Продольное сечение ст. «Маяковская»

ромешалка и растворонасос, расположенные на платформе станции.

Для перехвата случайных протечек устраивается водоотводящий желоб и приемное корыто или организовывается сброс воды по трубопроводу в лоток бокового станционного тоннеля.

В случае сохранения отдельных течей по станции после выполнения работ 1-2 стадий проводится их ликвидация на основании проекта производства работ (ППР) применительно к особенностям условий конкретных течей.

При этом не исключено, что вода из течей будет отводиться дренажными трубками.

Технология нагнетания раствора, его состав, консистенция и давление уточняются в процессе работ, которые ведутся в два этапа: сначала первичное нагнетание, затем – контрольное.

Первичное нагнетание цементно-песчаного раствора производится за обделку через все скважины снизу вверх с двух сторон свода одновременно. Давление нагнетания при использовании пневматического растворонагнетателя не ограничивается, а при применении насоса механического действия оно не должно превышать 0,5 Мпа.

Распространение цементно-песчаного раствора за обделкой определяется наблюдением за выходом раствора в открытых пробковых отверстиях.

После схватывания раствора все скважины должны вновь разбуриваться с углублением их в породу не менее чем на 20 см для проведения контрольного нагнетания.

При контрольном нагнетании должны проводиться визуальные наблюдения за течами в своде среднего зала, боковых станционных тоннелях, натяжной камере и в эскалаторном тоннеле.

Второй выход и вестибюль

Архитектурно-планировочное решение второго выхода ст. «Маяковская» направлено на создание единого комплекса, включающего пассажирские помещения второго выхода и восстановление первоначального облика станции: раскрытие заложенных проемов, реставрацию облицовки художественной мозаики, светильников. Исходя из оригинальных объемно-планировочных решений, вестибюль и лестничный выход сооружаются в единой конструкции из монолитного железобетона на свайном основании. Конструкции проектируемого подземного вестибюля допускают размещение над ним многофункционального центра 8-12 этажей.

Рядом с вестибюлем возводится 4-уровневая подземная автостоянка.

Учитывая сложные инженерно-геологические и градостроительные условия, а также влияние существующих подземных сооружений и выработок, участок второго выхода между подземным вестибюлем и примыканием к торцу станции принят в следующих конструкциях:

- эскалаторный тоннель на три ленты эскалатора Е55Т высотой 37,2 м, принят кругового очертания из чугунных тубингов диаметром 8,5 м;

- натяжная камера и коридоры № 1 и 2 - в обделке кругового очертания из чугунных тубингов диаметром 9,5 м;

- камера металлоконструкций запроектирована в обделке эллиптического очертания размером 10,7/9,0 м из чугунных тубингов диаметром 9,5 м с прокладками;

- коридор № 2 соединяется с № 1 двумя ходками из монолитного железобетона с внутренней теплоизоляцией шириной по 3,75 м. Под одним ходком располагается кабельно-вентиляционный коллектор;

- коридор № 3 с натяжной камерой запроектирован в обделке кругового очертания из чугунных тубингов диаметром 8,5 м. Он соединяется с коридором № 2 двумя ходками из монолитного железобетона с внутренней металлоизоляцией, которые проходят под действующим перегонным тоннелем, выполненным из железобетонных блоков с внутренней гибкой изоляцией и защитной рубашкой из монолитного железобетона;

- малый наклонный тоннель на 3 ленты эскалатора Е900Т высотой 8,8 м сооружается в обделке кругового очертания из тубингов диаметром 7,5 м;

- подходной коридор № 4 с машинным помещением, примыкающий к торцу платформенной части станции, располагается между действующими перегонными тоннелями. Он сооружается в обделке кругового очертания из чугунных тубингов диаметром 8,5 м. Так как свод коридора № 4 находится в юрских глинах, которые при взаимодействии с водой теряют прочность и устойчивость, принято решение до начала проходки из торца станции «Маяковская» пробурить защитный экран из труб.

Для повышения надежности электроснабжения существующих потребителей станции и перегонных тоннелей предусмотрено возведение понизительной подстанции ПП-252 в устойчивых грунтах в обделке из монолитного железобетона с внутренней металлоизоляцией. Полусвод диаметром 8,5 м опирается на плоский лоток с кабельным коллектором. Длина ПП-252 составляет приблизительно 50 м. Она соединяется с существующей РТП-3 двумя вертикальными шахтами. Одна из них лифтовая, другая - кабельная. Высота шахт около 20 м.

Архитектура

Архитектурная отделка вестибюля и коридоров предусматривается долговечными материалами, отвечающими эксплуатационным и эстетическим требованиям. Для облицовки стен и колонн вестибюля и коридоров использованы ранее примененные материалы: мрамор «Орле», «Уфалей», нержавеющая сталь; для полов и парапетов лестничных сходов - полированный гранит; для полов коридора перед вестибюлем и ступеней лестничных сходов - гранит из под распила.

Для информации пассажиров применены светящиеся указатели. Освещение вестибюля и коридоров предусмотрено художественными светильниками индивидуального изготовления. На входах в вестибюль - светильники в антивандальном исполнении.

В вестибюле запроектировано художественное оформление, отвечающее тематике станции. Скульптурный бюст В. В. Маяковского переносится во вновь сооружаемый вестибюль.

Над уличными лестничными сходами устраиваются павильоны.

Все лестницы оборудуются подъемниками для инвалидов.



СООРУЖЕНИЕ ВТОРОГО ВЫХОДА СТ. «МАЯКОВСКАЯ»



Разработка породы и монтаж временных колец большого наклонного эскалаторного тоннеля

Н. А. Сорокин,
директор СМУ № 8
ОАО «Мосметрострой»

Строительство второго выхода станции метро «Маяковская» ведётся в сложных инженерно-геологических условиях, обусловленных наличием толщи песков и известняков, являющихся водообильными горизонтами грунтовых вод. Тоннель возводится в водонасыщенных грунтах закрытым способом. Грунтовый массив сверху вниз сложен следующими слоями:

- насыпной слой мощностью 2 м;
- четвертичные пески крупные и гравелистые с прослоем суглинков мощностью около 15 м;
- юрские суглинки 6 м;
- юрские глины полутвёрдые 8 м;
- верхнекаменноугольные известняки мощностью 1 м;
- верхнекаменноугольные глины мергелистые, мертели и известняки общей мощностью около 10 м.

Четвертичные пески содержат грунтовые воды, глубина залегания уровня которых 6 м. Ожидаемый водоприток составляет 30 м³/ч.

Слои известняков также являются водоносными горизонтами, содержащими напорные воды. При этом пьезометрические уровни этих вод находятся ниже горизонтальной оси станции. Юрские глины являются неблагоприятной средой для строительства в них тоннелей. При взаимодействии с водой они быстро размокают, теряя прочность и устойчивость. При проходке в них развивается наибольшее, по сравнению с другими глинами московского геологического разреза, горное давление.

Рассматривая геологические разрезы участка строительства, которые были приняты для проектирования, обнаруживается, что в кров-

ле глин Оксфорда указано наличие прослоя водоносных супесей с фосфоритами мощностью около одного метра. Фактически такой прослой разделяет водоупорные слои. Его отрицательная роль заключается в том, что он способствует увеличению свода обрушения и, кроме того, может являться дополнительным источником воды, расположенным близко к своду станции. В результате деформаций глин в забое и в грунтовом массиве на поверхности обычно образуются значительные мулды оседания. Для предотвращения этих процессов при проходке, грунты массива закреплены посредством искусственного замораживания.

Для создания ледово-грунтового цилиндра вокруг наклонного хода на участке строительства была смонтирована система рассолопроводов и установлены шесть установок ПХУ-50. Замораживание осуществляется с использованием наклонных скважин. В качестве хладоносителя применяется водный раствор (рассол) хлористого кальция. С целью замораживания грунтового массива в зоне эскалаторного тоннеля было пробурено весьма значительное количество вертикальных и наклонных скважин проектной глубиной до 60 м. Искусственному сплошному замораживанию были подвергнуты грунты (пески, супеси, суглинки) в массиве вокруг эскалаторного тоннеля по его контуру. Главная задача этого мероприятия - временное упрочнение грунтов с целью придания им большей стабильности. Упрочнение песков и супесей произошло за счет их «цементирования» льдом. При этом образовались грунты, имеющие структуру и прочность песчаника. Суглинки также увеличили свою прочность, но их замерзание происходит с образованием линз и прослоев льда.

Конструкция второго выхода представляет собой сложную систему подземных сооружений, включающую в себя вестибюль, большой



Монтаж тубингоукладчика большого эскалаторного тоннеля

и малый наклонные ходы, натяжную камеру, камеру металлоконструкций, понизительную подстанцию, лифтовую шахту, кабельный коллектор, четыре подходов коридора и соединяющие их ходы. Общая протяжённость тоннелей составляет около 300 м, без учёта вспомогательных выработок. Конструкция большого наклонного хода имеет круглое очертание диаметром 8,5 м с обделкой из чугунных тубингов, натяжная камера и подходной коридор № 1 сооружаются из чугунной обделки диаметром 9,5 м. Камера металлоконструкций – из чугунной тубинговой обделки 10.706/9.937. В ходы, соединяющие подходные коридоры, устанавливается металлоизоляция с анкерами. Подходной коридор № 2 выполняется из чугунной обделки подковообразного очертания диаметром 8,5 м, № 3 – из чугунной обделки диаметром 9,5 м. Малый наклонный ход имеет округлое очертание с тубинговой обделкой диаметром 7,5 м, а соединяющий его со станцией подходной коридор № 4 – чугунную обделку диаметром 8,5 м.

Временный водоотлив при сооружении комплекса 2-го выхода ст. «Маяковская» осуществляется по дренажным канавкам и трубопроводу комбинированно.

С целью осушения забоя при проходке большого наклонного эскалаторного тоннеля, вместе с заложенным проектом насосом «Ином 16-15А», применяются иглофильтры, обеспечивающие лучший отбор грунтовых вод из зоны ведения работ.

Сооружение вестибюля предусмотрено в котловане, ограждённом сплошной стеной из буронабивных секующихся свай (БСС), заглублённых в водоупор. Такая схема предотвращает возможное разуплотнение грунта в зоне существующих коммуникаций (водопровод, газопровод и т. д.) при разработке грунта. Буронабивные секующиеся сваи, заглублённые в глинистые юрские водоупорные грунты, должны обеспечить изоляцию котлована от поступления в него грунтовых вод. Бурение скважин под уст-

ройство свай предусмотрено шнеком с обсадной трубой, извлекаемой при бетонировании. При этом используется буровой станок «Касагранде В-250», обеспечивающий погружение обсадной трубы усилием домкратов, без ударного воздействия, что является немаловажным при работах вблизи эксплуатируемых зданий. С целью откачки воды из котлована в его пределах бурятся водопонизительные скважины, оборудованные насосами ЭЦВБ-10-50. Для снятия остаточной воды будут применены насосы открытого водоотлива, расположенные в зумпфах.

Так как строительство комплекса «второй выход ст. «Маяковская»» ведётся в очень сжатые сроки, было принято решение об одновременном сооружении сразу нескольких его элементов. Так, вместе с проходкой большого эскалаторного тоннеля начато сооружение первого и второго подходных коридоров, что должно заметно сократить период возведения комплекса. Проходка выработок нижнего горизонта осуществляется с помощью сооружённого на участке горного комплекса: ствол № 76 с одной клетью, бункерная секция, тельферная эстакада, ГВУ, машинное помещение.

Проходка большого наклонного эскалаторного хода идёт с помощью тубингоукладчика ТНУ-4, отгрузка породы осуществляется в скип породопогрузочной машиной МП-9,5, а сооружение натяжной камеры – горнопроходческим комбайном 4ПП-2М. Все работы ведутся без применения буровзрывных работ. Монтаж тубинговой обделки осуществляется при помощи лебёдок. Откатка породы из коридоров № 1 и 2 – вагонами ёмкостью 1,5 м³ вручную, далее – вертикальное перемещение вниз переподъёмником, затем вагон откатывается электровозом до клетки ствола и выдаётся на поверхность.

Так как строительство ведётся в центре города, был разработан проект системы шумоглушения.

СООРУЖЕНИЕ К С МОНОЛИТНОЙ

С. Е. Ермолаев,

инженер ОАО «Метрогипротранс»

Г. П. Бокучава,

инженер ООО «Тбилметрострой»

В проекте строительства Московским метростроем выработок большого поперечного сечения (с пролетом более 5,5 м) обычно применяется обделка сводовой части из чугунных тубингов, независимо от гидрогеологических условий строительства. Такая обделка обладает многими достоинствами: водонепроницаемостью, ремонтпригодностью, возможностью монтажа при больших водопритоках в устойчивых породах. Основным ее недостатком является высокая стоимость конструкции, привело в последние десятилетия к существенному уменьшению применения чугунных тубингов в зарубежном тоннелестроении.

Для энергоснабжения второго выхода станции «Маяковская» Замоскворецкой линии Московского метрополитена необходимо соорудить новую понизительную подстанцию. Для размещения ее оборудования необходима выработка шириной 7,8 и длиной 52 м. В технико-экономическом обосновании строительства второго выхода станции «Маяковская», разработанном ОАО «Метрогипротранс» в 2001 г., сооружение выработки подстанции предусматривалось с обделкой из чугунных типовых колец Дн/Дв = 8,5/7,8 м.

При рабочем проектировании, учитывая ограниченность выделяемых заказчиком средств, было решено рассмотреть альтернативные варианты строительства выработки. Подходные штольни от рабочего ствола к проектировавшимся выработкам нижнего яруса второго выхода со станции были сооружены в 1997-1998 в устойчивых каменноугольных породах, представленных твердыми мергелистыми глинами в нижней части сечения и известняками средней прочности - в верхней. Водоприток при проходке был незначительный. Выработки были сооружены с креплением из металлических рам с деревянной затяжкой между ними с последующим

Кабельный коллектор понизительной подстанции



КОНСТРУКЦИИ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКОЙ



Сводчатая часть понизительной подстанции

обетонированием межрамного пространства. Опасных явлений при проходке, таких как вывалы, пучение и набухание горных пород, не происходило.

Учитывая полученный опыт, проектировщики ОАО «Метротранс» и строители ООО «Тбил-метрострой» по согласованию с заказчиком (Дирекцией строящегося метрополитена) приняли решение о сооружении выработки для понизительной подстанции с монолитной железобетонной обделкой. Учитывая повышенные требования по недопущению каплеза воды в выработки с находящимся в них электрооборудованием, было решено в качестве гидроизоляции использовать стальной лист толщиной 8 мм по всему внутреннему контуру обделки. Обваренные по всем стыкам листы обеспечивают полную гидроизоляцию внутреннего пространства выработки, что позволяет отказаться от применения зонтов, обычно подвешиваемых на расстоянии 10 см от внутреннего контура чутунных тубингов сводчатой части выработки. Такое решение облегчает также нагнетание цементного молока за металлоизоляцию или монолитную бетонную обделку при ремонтных работах.

Учитывая возможность варьирования размещения выработок в профиле, были определены критерии для уточнения ее положения:

- лоток выработки понизительной подстанции должен быть расположен выше лотка подводящих выработок для обеспечения самотечного водоотвода;
- шельга свода выработки понизительной подстанции должна обеспечивать минимальную высоту свода возможного обрушения грунта.

В связи с тем, что выработка для подстанции запроектирована в зоне эксплуатируемых сооружений метрополитена, взрывные работы при проходке не допускались. С учетом трещиноватости и отсутствия водопритока прочность пород в сводчатой части выработки оценивалась $f = 2,5-3,5$; высота свода обрушения соответственно $h = 1,8-1,2$ м. Выработка пони-

зительной подстанции бала запроектирована в профиле с условной отметкой шельги свода по наружному контуру обделки 65.0 при отметке кровли пласта известняка 66.8.

Сооружение конструкции предусматривалось с раскрытием сечения по частям. В первую очередь по всей длине выработки была сооружена пилот-штольня с креплением полным дверным окладом из стальных рам I 20 с деревянной затяжкой между ними. Верхняки рам, устанавливаемых на отметке 61.0, располагались в прослое прочного известняка. Во вторую очередь в торце выработки подстанции сооружалась фурнел, и разрабатывалось сечение сводчатой части выработки. Проходка сводчатой части велась с установкой временной крепи из арок I 33Б1 с шагом 1 м. Каждая арка состояла из двух полуарок, соединяемых болтами в шельге свода, и выполняемых на шахтной поверх-

ности путем сварки прямых отрезков двутавров. Пята свода при проходке верхней части выработки была принята на отметке 61.0, что обеспечило минимальную толщину слоя прочного известняка под аркой 30 см.

Для механизации разработки забоя, представленного известняком средней прочности и прочным, использовались станки кернового выбуривания алмазным инструментом производства фирмы «Доктор Шульц» (Германия). После выбуривания кернов оставшиеся целики разрабатывались отбойными молотками с выдачей породы через кровлю ранее сооруженной штольни.

Железобетонная конструкция обделки сводчатой части рассчитывалась на давление всей вышерасположенной толщи грунта и давление воды. После установки арматурных каркасов между рамами к внутренним полкам двутавров арочной крепи приваривались листы металлоизоляции, и с помощью бетононасоса, установленного в подводящей штольне, производилась укладка бетона за металлоизоляцию с последующим первичным нагнетанием цементно-песчаного состава за обделку через специально оставленные в ней инъекционные трубки.

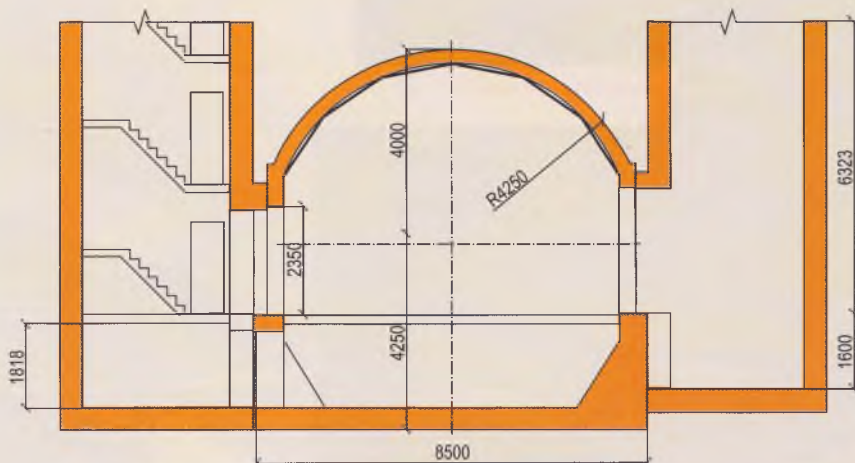
Подведение стен под сводчатую часть производилось в шахматном порядке захватками шириной по 2 м с устройством сопряжения с конструкцией кабельного канала, располагаемого в пределах пилот-штольни. Затем выполнялось контрольное нагнетание за обделку. По результатам маркшейдерских измерений осадки свода конструкции не превысили 3 мм.

Для антикоррозионной защиты металлоизоляции предусматривается применение современного российского материала «Алюмоэласт» с гарантийным сроком службы 15 лет. Работы планируются завершить в 2004 г.

Предложенная конструкция подстанции и ее сооружение позволяют уменьшить стоимость строительства на 17%.



Понизительная подстанция в районе кабельной и лифтовой шахт



ТОННЕЛЬНОМУ ОТРЯДУ № 6



Генеральный директор ТО-6 Г. В. Макаревич



Тоннель Бутовской линии, пройденный ТПМК «Ловат»



Стрелочный перевод в камере смещения Бутовской линии



Станция «Филинская» Московского метро

Очень трудно кратко рассказать об истории одного из старейших подразделений Московского метростроя – Тоннельном отряде № 6. Ведь это не только более 100 километров пройденных тоннелей, 9 станций, 630 км уложенных, уходящих вдаль плетей рельс – это огромный труд тысяч людей, их судьбы с радостями побед, горечью неудач, политые потом, а иногда и кровью метры подземных выработок, это тяжелый, но боевой, отдающий романтикой и очень благодарный труд метростроителей.

Тоннельный отряд № 6 на два года младше Мосметростроя. Это понятно – организация, вначале задуманная как чисто путейская, должна дожидаться готовых тоннелей. И очередь дошла до путейцев 3 ноября 1933 г., когда началась укладка пути и контактного рельса на трассе I очереди.

В марте 1954 г. СМУ № 1 объединили со строительством № 100, которое специализировалось на сооружении тоннелей и вспомогательных помещений. Коллектив возглавил Герой Социалистического Труда И. А. Яцков, которому это высокое звание в стране было присвоено еще в годы Великой Отечественной войны за восстановление разрушенных на Кавказе тоннелей. Так появилась организация, которую привыкли видеть и сейчас – выполняющая как строительные, так и путевые работы. Это стало, по существу, вторым днем рождения коллектива.

Путейцев из Москвы помнят не только в Минске и Ереване, помогали они и в Ташкенте и во многих других городах. В активе путейцев и первая сварка рельсов в тоннеле, и укладка виброзащитного пути, применение стеклопластиковых коробов для защиты третьего рельса, десятки опытных участков с различного рода скреплениями и, освоенный буквально в прошлом году, путь со шпалами-коротышами из композитных материалов. Надо сказать,



МОСМЕТРОСТРОЯ - 70 ЛЕТ

Гражданские объекты, построенные ТО-6

что в коллективе ТО-6 любят внедрять новые механизмы и материалы. Так, в 1975 г. были проделаны большие экспериментальные работы по монтажу сейсмостойкой обделки и водонепроницаемой железобетонной. В 1977 г. – испытан первый на метрострое щит с экскаваторным рабочим органом, в 1982 г. – опробован и удачно внедрен проходческий полук с механизированной разработкой забоя, чуть позже в ТО-6 испытание выдержали укладчики УКВ-1, В-2, комбайн КШМ и ГПК. Отдельно надо отметить опыт, полученный при внедрении на Люблинской линии в 1989 г. механизированного щита с гидропригрузом фирмы «Херренкнехт» и сотрудничество с фирмой «Ловат». Именно после этого у многих специалистов поменялись взгляды на будущее метростроения. Да, именно такие щиты, где можно работать в тапочках, где многие процессы, такие как чеканка тоннеля, разработка породы, болтежка и другие ка- нули в лету, где молодые люди находят применение своим знаниям, работая с компьютерами, лазерами, манипуляторами и должны составлять основу и идеологию метростроения.

С 1993 г. пытаюсь уйти от традиционных методов проходки с БВР, в ТО-6 накоплен большой опыт по сооружению тоннелей и выработок сечением от 15 до 80 м² с помощью новоавстрийского метода.

Надо отметить, что в борьбе за выживание в последние годы коллектив ТО-6 выполнял, и довольно успешно, работы, не связанные с метростроением. Это – возведение с испанской фирмой «Элеусис» пивзавода, с индийской – «Гамон» – гостиницы «Сви- во», с югославской «РАД» – проведение работ в Шереметьево, с бельгийской фирмой «Бессикс» – строительство Сбербанка РФ. Также в послужном списке коллектива – коллекторные тоннели разных диаметров, проколы под железнодорожными путями, сооружение спорткомплексов и многое другое.



Здание театра «Ленком»



Здание Сбербанка России на Андронниковской пл.



Пивзавод в Бирюлеве



Здание Сodbизнесбанка





Готовый участок тоннеля от ст. «Киевская» до ст. «Парк Победы», проходивший по технологии НАТМ

НАТМ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В МОСКВЕ

С. В. Бочаров,
главный инженер ТО-6
ОАО «Мосметрострой»

Традиционно сложилось, что тоннели закрытого способа работ метрополитена в Москве проектировались и строились одним из двух классических способов: буровзрывным или щитовым. При выборе способа проходки тоннелей Арбатско-Покровской линии от станции метро «Киевская» до «Парка Победы» Тоннельным Отрядом № 6 Мосметростроя совместно с Дирекцией строящегося метрополитена и Метрогипротрансом было принято решение о сооружении в опытном порядке участка, построенного по новоявстрийской технологии производства работ (НАТМ). К данному времени положительный опыт сооружения горных выработок в аналогичных горно-геологических условиях по такой технологии имелся у Протоннельстроя на сооружении Серпуховского ускорителя с участием австрийской фирмы «BETON UND MONIERBAU».

Выбор способа строительства в Москве был обусловлен несколькими причинами. Одной из основных стала необходимость сооружения более 500 пог. м горных выработок в зоне ограничения и запрещения производства взрывных работ в связи с близостью объектов действующих тоннелей метрополитена. Поскольку норм проектирования и строительства тоннелей метро с помощью НАТМ не существовало, на первом этапе внедрения новой технологии строитель-

ства в Москве было принято решение для отработки алгоритмов расчета временной и постоянной обделок, способов гидроизоляции построенных тоннелей, устройства деформационных швов, выработке оптимальных конструктивных элементов обделок и составов компонентов, используемых при набрызг-бетонировании, определении и отработке нормативов контроля напряженно-деформированного состояния сооружаемых тоннельных обделок и многих других теоретических и практических вопросов для сооружения 300-метрового участка временных подходов выработок на шахте № 459 Арбатско-Покровского радиуса, и в случае положительного результата, распространить данную технологию на участки постоянных тоннелей метро.

Горно-геологические условия на участке проходной выработки были достаточно благоприятными и представляли собой малообводненные перемежающиеся слои карбонной глины, мергеля и известняка с прочностью до 5 по Протодьяконову. Сечения участков проходных выработок были запроектированы от 13,5 м² для рядовой штольни до 30 м² – участка, имитирующего реальные условия перегонного тоннеля метро.

Для сооружения горных выработок с использованием новоявстрийской технологии было использовано следующее горное оборудование:

- горнопроходческий комбайн «PAURAT E-134S», позволяющий обрабатывать за один прием выработки шириной до 7 м, высотой до 6,4 м и до 0,25 м ниже погрузочного стола ком-

байна. Продольный фрезерный рабочий орган этой машины позволял разрабатывать контур выработки с высокой точностью, необходимой для НАТМ, а режущий инструмент успешно справлялся с разрушением мергелей и известняков прочностью до 5 единиц;

- комплекс оборудования, предназначенного для заготавливания у специально оборудованных, пробуренных с поверхности скважин инертных составляющих в виде смеси песка и щебня (фракции 5-10 мм), специально подобранным цементом и комплексной добавкой для ускорения схватывания набрызг-бетона;

- оборудование фирмы «SCHWING-STETTER» для подачи, смешивания и весового дозирования компонентов набрызг-бетона к бетоншприцмашине «ALIVA», предназначенной для «сухого» метода набрызг-бетонирования.

Конструктивная часть временного крепления набрызг-бетоном тоннельных выработок отработывалась и внедрялась по предварительным расчетам специалистов НИЦ ТМ, затем, в результате замеров напряженно-деформированного состояния крепи она корректировалась. Так поначалу были запроектированы арматурные каркасы арок пространственного треугольного сечения, за которые при монтаже заводилась сварная арматурная сетка. Элементы арки по условиям удобства доставки и монтажа изготавливались составными из четырех сегментов. Недостатком такой конструкции являлось избыточное количество набрызг-бетона, которое приходилось наносить на конструкцию временной крепи в сечении арок по сравнению с межарочны-

ми сечениями тоннеля. Кроме того, измерения показали избыточно большой запас прочности таких конструкций. Поэтому принято было решение перейти на условно плоские арматурные арокные каркасы (рис. 1). Трехстержневая конструкция рабочих стержней обваривалась арматурной «змейкой» для обеспечения жесткости и геометрической неизменяемости конструкции элемента арки. Для изготовления арок в арматурном цехе были подготовлены специальные кондукторы, в которые закладывались предварительно провальцованные стержни арматуры и затем в зафиксированном положении обваривались.

Было также отработано удачное конструктивное решение арок. Каждая из них представляла собой горизонтальные распределительные арматурные балки (так называемые рандбалки) длиной 1 м, устанавливаемые в лотковой части арок вдоль сооружаемого тоннеля, непосредственно на которые осуществлялся монтаж четырехсекционных элементов арок на болтовых связях в стыках. Размер секций выбирался исходя из следующих параметров: веса элемента, удобного при ручном монтаже арок и его габаритности при его спуске и доставке в шахте.

Монтаж арочной конструкции в забое осуществлялся из укрупненных попарно элементов с замыканием ее в верхнем стыке. Совместно с этим осуществлялся монтаж арматурной сетки, заводимой за установленную арматурную арку. Причем, ближняя к забою часть арматурной сетки консольно выпускалась за грань последней установленной арки на 15-20 см и не бетонировалась. Это обеспечивало удобный монтаж последующей армосетки с перехлестом.

Перед набрызг-бетонированием установленной арматурной конструкции выполнялась обязательная выверка положения арматурной арки относительно оси тоннеля с помощью контрольных замеров от луча лазера, установленного в интервале 30-100 м от забоя. При необходимости арматурный каркас арки рихтовался и раскреплялся.

Набрызг-бетонирование временной крепи выработки начиналось снизу вверх с особенно тщательным нанесением бетона на опорные части рандбалок. Нанесение бетонной смеси осуществлялось послойно, не более 5 см за один проход соплом. Этим достигалось минимальное количество отскока набрызг-бетона от поверхности бетонизируемой конструкции. Так, на стенах выработки отскок бетонной смеси не превышал 10-15%, в сводовой части эта доля составляла от 25 до 50% в зависимости от наличия водопроявлений в разработанном контуре тоннеля или изменения состава компонентов бетонной смеси. В целом эти процентные соотношения отскока соответствуют мировой практике НАТМ. При обильных водопроявлениях, особенно в своде выработки, приходилось выполнять каптирование (отвод) воды путем монтажа за арматурный каркас к местам обильных течей специально подготовленных воронок из жести с отводной трубкой. При бетонировании крепи воронка собирала и отводила грунтовую воду из зоны укладки набрызг-бетона. Таким образом, уложенная смесь успевала набирать необходимую прочность не вымываясь.

Практически вся отскочившая при набрызг-бетонировании масса использовалась для создания армированного дорожной сеткой основания – подготовки для будущей постоянной конструкции тоннеля, являясь также надежным основанием для тяжелого горнопроходческого



Рис. 1. Рабочий орган проходческого комбайна «Паурат», слева видны арматурные арочные каркасы

комбайна, который при работе в слабых грунтах в лотке начинал «тонуть».

Для предотвращения этого нами были сконструированы и внедрены специальные дерево-металлические лежни. Для их установки после разработки забоя комбайн выставлялся на гидравлические аутригеры и под его днищем лебедкой протаскивалась очередная секция лежневого основания размером 1х4 м, устанавливалась впереди ранее смонтированных лежней и затем на нее заезжал комбайн. В десяти метрах за комбайном лежни демонтировались и вновь перемещались в забой. Данная схема временного усиления лотка тоннеля под комбайном показала свою эффективность, но увеличивала трудозатраты на ручную доработку лотковой части выработки перед комбайном и время сооружения одного цикла проходки.

Выбор оптимальных компонентов набрызг-бетона, рецептура смеси, разработка и корректировка комплексной добавки ускорения схватывания смеси, различные виды контроля и исследований на всех этапах практически на протяжении всего строительства осуществлялись специалистами НИЦ ТМ и СКТБ. Необходимо отметить, что разработанная сотрудниками этих научных организаций рецептура ускорителя схватывания набрызг-бетонной смеси, не уступает по свойствам добавке фирмы «SIKA», но значительно дешевле и доступнее, а поливинилхлоридная двухслойная двухцветная свариваемая гидроизоляция, изготавливаемая на российских заводах, - не уступает по своим свойствам западным аналогам, также измерительные датчики и некоторые другие наработки.

Высокая несущая способность созданной таким способом временной крепи горных выработок позволила производить последующие операции – гидроизоляцию, армирование и бетонирование постоянной тоннельной обделки на расстоянии 100 м и более от забоя, что позволило обеспечить достаточные для нормаль-

ной работы зоны, необходимые для выполнения каждой из последующих операций без сдерживания проходческих работ. Объем данной статьи не позволяет в полной мере изложить характер всех разработок, связанных с выбором гидроизоляции, технологии ее монтажа и контроля качества. Хочется отметить, что наиболее эффективной и технологичной для монтажа в подземных горных выработках стала 2-слойная гидроизоляция из ПВХ пленки, имеющая высокие физико-механические свойства, свариваемая на месте в сплошной контур и закрепляемая к первичной обделке с использованием специализированного сварочного оборудования фирмы «LEISTER» (рис 2).

Значительная работа была выполнена специалистами Метрогипротранса в плане выбора конструкции постоянной обделки тоннелей. Ввиду отсутствия нормативной базы проектирования подобных конструкций (имея в виду учет совместной работы и расчет несущей способности и долговечности первичной и постоянной обделок тоннелей) пришлось идти путем постепенной оптимизации конструкции. Всего же на данном участке были применены четыре различных варианта конструктивных решений в зависимости от горно-геологических условий и назначения выработок.

Первый вариант предусматривал сооружение монолитной железобетонной обделки с плоским лотком и замкнутой внешней по отношению к постоянной обделке, сваренной из ПВХ пленки, гидроизоляции тоннеля (рис. 3). Второй вариант аналогичен первому, но без применения внешней гидроизоляции, ввиду использования на участках с малым притоком воды. Оба этих варианта обделок сооружались с использованием двух комплектов передвижной опалубки тоннельной обделки (стенной и сводовой). Конструктивно опалубки позволяли бетонировать по 6 м обделки в двое суток с установкой, бетонированием и выстойкой, причем без оста-



Рис. 2. Монтаж контура гидроизоляции и арматурных каркасов постоянной обделки

новки проходческих работ. Накопив опыт сооружения первых двух типов обделок, проанализировав все операции, удалось совместно с конструкторами Метрогипротранса разработать оригинальную комбинированную конструкцию постоянной обделки. Нижняя ее часть сооружалась по второму варианту, а наи-

более трудоемкая сводовая часть монолитной обделки была заменена на сборную унифицированную, состоящую из четырех нормальных блоков с внутренней теплоизоляцией и замков. Блоки обделки монтировались переоборудованным для работы с путей, смонтированных на стенках монолитной обделки, блокоукладчи-

ком ТУ-1гп (рис. 4). С подобной конструкцией обделки Тоннельному Отряду № 6 удалось при резком дефиците времени до сдачи линии в эксплуатацию соорудить около 500 м тоннеля в зонах ограничения и запрещения БВР рядом с действующими тупиками станции «Киевская». При этом темпы проходки составляли 2-3 м в сутки, а возведение постоянной обделки – 8-10 м в сутки. Учитывая наличие в этом месте мощных пластов крепких известняков, пожалуй, ни одна другая доступная технология не позволила бы решить поставленной задачи. Еще одна оригинальная конструкция была использована при сооружении тягово-понижительной подстанции метро диаметром 9 м. Сначала с технологией NATM был пройден свод выработки с максимально возможной высотой разработки породы комбайном «PAURAT», а затем смонтирована постоянная конструкция обделки из сваренных между собой армометаллоблоков, которые также монтировались с использованием стрелы комбайна. После бетонирования сводовой части по этапам были разработаны ядро и бермы с подводкой постоянных стен и лотка.

В итоге проведенной работы совместно со специалистами Метрогипротранса, НИЦ ТТ, СКГБ и при поддержке Дирекции строящегося метрополитена был накоплен значительный объем материалов и информации, которые могли стать основой для разработки Норм проектирования и строительства горных выработок по технологии новоавстрийского метода, в том числе и при сооружении метро. В наше время актуальность решения этой задачи возросла не только в связи с ограничением возможностей использования БВР по условиям сейсмического воздействия или санитарным нормам. Еще более актуальной является задача поиска и внедрения в традиционные сферы тоннельного строительства высокопроизводительной механизированной техники и технологий для повышения производительности и исключения трудоемких и непривлекательных для современных жителей наших городов горных работ, чтобы решить задачу привлечения новых кадров. **МТ**

Рис. 3. Монолитная обделка перегонного тоннеля

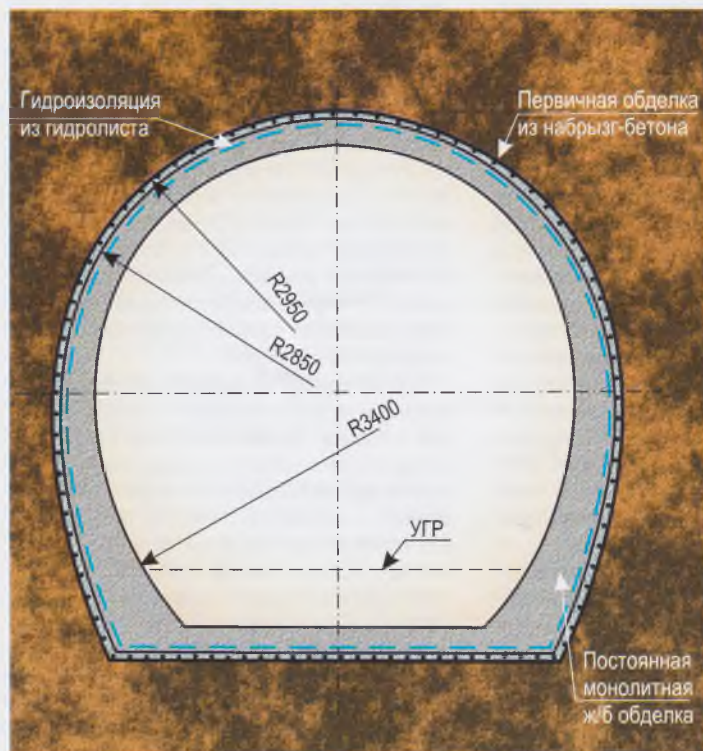
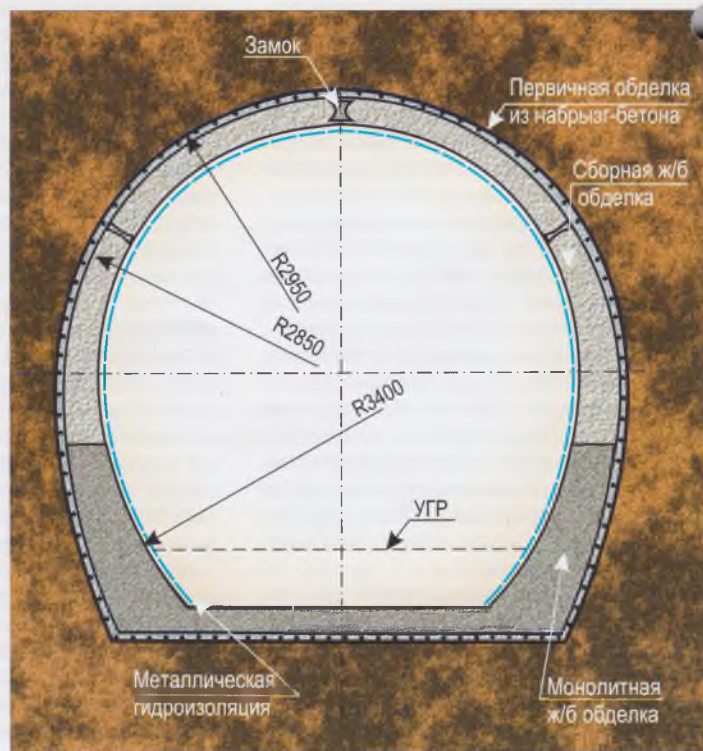


Рис. 4. Комбинированная обделка перегонного тоннеля





МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Н. С. Четыркин, к. т. н.

Б. Н. Зведенюк, к. т. н.

А. С. Силкин, А. П. Шемардов,
инженеры СКТБ «Тоннельмострой»

В. В. Чеботаев, к. т. н.

Л. А. Воробьев,
инженер НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС

При сооружении Тоннельным отрядом № 6 подземных выработок на Арбатско-Покровской линии Московского метрополитена (перегонного тоннеля длиной около 2 км «Киевская» – «Парк Победы» и станционной тяговой подстанции СТП-301, рис. 1) по новоавстрийской технологии проводили мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) набрызг-бетонной крепи. Мониторинг выполняли на основании и в соответствии с техническим заданием, утвержденным главным инженером ТО-6, и рассматривали как неотъемлемую часть технологического процесса строительства.

Решетчатые арки крепи для СТП из стержневой арматуры были разработаны НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС. Работы по оборудованию арок датчиками и проведению измерений выполнялись сотрудниками НИЦ ТМ и ОАО «СКТБ Тоннельмострой». Результаты измерений в процессе производства работ обсуждались совместно специалистами ТО-6, СКТБ и НИЦ ТМ. По результатам регулярных измерений деформаций и усилий, действующих в крепи, в проект сооружения оперативно вносили корректировки.

Для измерения общих деформаций выработки (конвергенции стен и осадки свода) применяли высокоточную рулетку-деформометр модели ЦНИИС. Рулетка позволяла регистрировать изменение положения фиксированных контрольных точек на контуре поперечного сечения выработки с точностью 0,2–0,3 мм. Такая точность была достигнута благодаря оригинальной конструкции рулетки. На каждой из баз отсчеты, «нулевые» и рабочие, снимали на одном и том же участке (длиной 1–2 см) ленты при постоянном ее натяжении (принцип деформометра) и использовали ав-

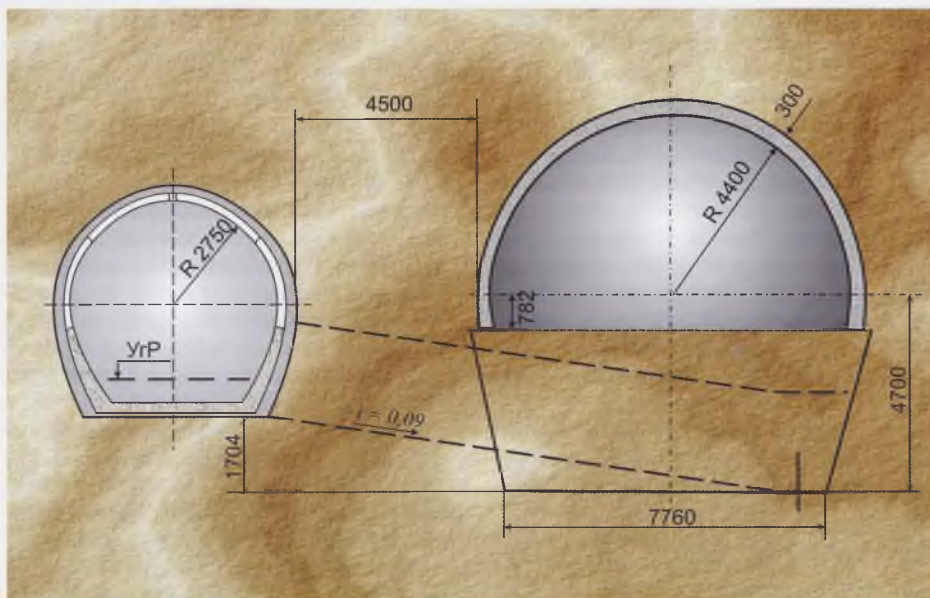


Рис. 1. Взаимное расположение объектов мониторинга

токомпенсацию температуры.

Регистрацию изменения нагруженности крепи в характерных точках выработки выполняли струнными датчиками деформаций ПЛДС-400 (преобразователь линейных деформаций струнный с базой 400 мм) конструкции Гидропроект. Использовали датчики производства московской фирмы АО «ДИГЭС». Датчики ПЛДС-400 прекрасно зарекомендовали себя при сооружении по технологии НАГМ некоторых подземных камер Серпуховского кольцевого ускорителя элементарных частиц в гидротехническом строительстве. Аналогичные датчики производства Днепропетровского завода успешно были использованы на строительстве станции метро «Геологическая» Екатеринбургского метрополитена. Большим преимуществом струнных электрических преобразователей как дистанционных измерительных приборов, используемых в сложных подземных условиях, является нечувствительность их к параметрам кабельных линий для передачи сигнала к регистрирующему прибору. Датчики

ПЛДС работают с регистрирующим прибором ПЦП-1 (периодомер цифровой портативный с автономным питанием от аккумулятора или сухих элементов).

Датчики ПЛДС-400 устанавливали внутри решетчатых арок. Крепили их к арматурным стержням арок вязальной проволокой. После установки очередной арки в проектное положение и вывода кабелей от датчиков к пункту коммутации производили набрызг-бетонирование.

Сразу после его окончания снимали первичные («нулевые») отсчеты. Деформации крепи определяли по тарифовочной зависимости, индивидуальной для каждого датчика.

Предварительным анализом было установлено, что датчики в местах их размещения на арках крепи будут работать преимущественно на сжатие. Поэтому с целью расширения диапазона измерений датчики предварительно настраивали (создавали необходимое предварительное натяжение струны). Натяжение производили в СКТБ ТМ на специальном натяжном стен-



Рис. 2. Датчик ПЛДС-400, измерительная станция ПЦП-1 и стэнд для натяжения струнных датчиков

де конструкции А. П. Шемардова (рис. 2). На рис. 3 показана установка решётчатой арки конструкции НИЦ ТМ в проектное положение с смонтированным на ней датчиком.

Опыт мониторинга НДС арочно-набрызг-бетонной крепи на перегонном тоннеле «Киевская» – «Парк Победы» Московского метрополитена показал, что с помощью шести датчиков типа ПЛДС-400 на каждой из арок можно достаточно уверенно контролировать ее состояние, вплоть до полной стабилизации деформаций. При сооружении по технологии НАТМ подземной камеры СТП удалось обойтись на каждой из арок шестью датчиками. Естественно, при больших размерах поперечного сечения выработки в общем случае потребовалось бы их большее количество.

Пример рабочей диаграммы регистрации деформаций арочно-набрызг-бетонной крепи во времени (арка № 23 СТП) показан на диаграмме (рис. 4). Видно, что вначале деформации обжатия крепи по всем датчикам быстро нарастали. По мере продвижения забоя скорость их нарастания уменьшалась и наметилась стабилизация (к этому времени забой ушёл достаточно далеко, $L > 2,5D_{\text{выр}}$). Далее в монотонности кривых появились возмущения, которые были вызваны влиянием проходки соседних выработок.

Анализ кривых позволил выявить следующее. Как и было предварительно установлено по результатам численного моделирования работы крепи, наиболее нагруженными оказались датчики, расположенные на «косых» диаметрах выработки. Наименее нагруженными оказались датчики в стенах выработки. Показания датчиков в зоне свода, расположенных симметрично справа и слева от шельги, выявили большую несимметричность нагруженности крепи, что указывает на значительную неопределенность нагруженности крепи в этой зоне, которую весьма сложно учесть расчетом и вместе с тем важно знать при проходке.

На рис. 5 представлены графики деформаций арочно-набрызг-бетонной крепи перегонного тоннеля по показаниям датчиков, смонтированных на арке № 65. Как можно видеть по кривым в центральной части диаграммы, в интервале примерно 90-100 дней деформации крепи стабилизировались, а затем в интервале 190-200 дней произошло резкое увеличение

скорости деформаций. В данном случае датчики отреагировали на возобновление проходки (до этого забой стоял около трёх недель по причинам нетехнического характера).

При сооружении перегонного тоннеля «Киевская» – «Парк Победы» датчики устанавливались не только для мониторинга арочно-набрызг-бетонной крепи (временная конструкция), но и в железобетонной обделке тоннеля (постоянная конструкция). Исследователей и проектировщиков интересовало, как меняется напряженно-деформированное состояние обделки во времени. Необходимо было сопоставить изменение во времени напряжений во временной крепи и в постоянной обделке в одном и том же поперечном сечении тоннеля. По чисто техническим причинам не всегда удавалось установить датчики во временную крепь и в постоянную обделку точно в одном и том же сечении. Однако, принимая во внимание идентичность горнотехнических и инженерно-геологических условий на значительном протяжении тоннеля (одна и та же глубина заложения, сечение и обделка тоннеля, идентичная геология и гидрогеология), можно с большой долей уверенности считать такое сопоставление правомерным. В частности, датчики типа

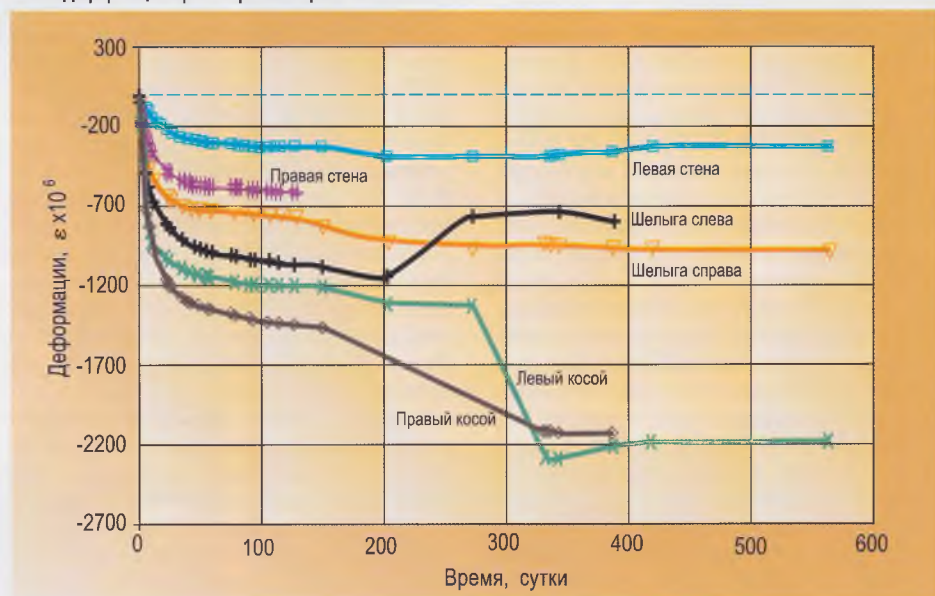


Рис. 3. Установка арки крепи со смонтированными датчиками в проектное положение перед набрызг-бетонированием очередной заходки

ПЛДС-400 (по десять датчиков в каждом из поперечных сечений тоннеля) были установлены в свод и стены постоянной обделки перегонного тоннеля на ПК 61+0 (армирование обделки армокаркасами) и на ПК 59+52 (армирование обделки армосетками), в лотке постоянной обделки датчики были установлены на ПК 60+98,5 (четыре датчика). Датчики, смонтированные в обделке, разместили в наиболее характерных точках поперечного сечения выработки попарно – вблизи от внутреннего и внешнего контуров железобетонной обделки, чтобы можно было определить изгибающие моменты. В арочно-набрызг-бетонной крепи тоннеля наиболее близко расположенный измерительный створ с шестью датчиками, был организован на арке № 194 (ПК 59+67).

Результаты анализа показаний датчиков представляют практический интерес. Датчики, установленные в набрызг-бетонной крепи, по прошествии определенного времени, (как правило, 90–100 дней), когда забой уходил достаточно далеко от места их установки, указывали

Рис. 4. Деформации крепи в районе арки № 23 СТП



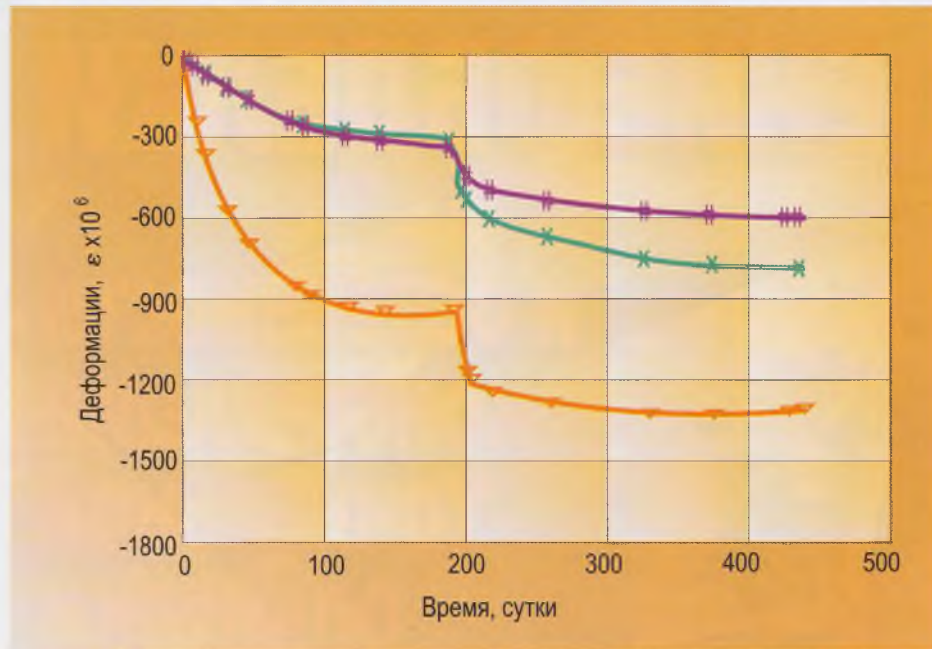


Рис. 5. Деформации арки крепи № 65 перегонного тоннеля. Арочно-фибробрызгбетонная крепь

на стабилизацию деформаций системы «крепь-массив». Возведение постоянной обделки практически не сказывалось на показаниях датчиков в крепи – они по-прежнему демонстрировали стабилизацию напряженно-деформированного состояния крепи. Датчики, установленные в постоянной обделке, показывали незначительные деформации, вызванные собственным весом обделки и напряжениями усадки бетона при его твердении (рис. 6). Деформации, зафиксированные датчиками в обделке, оказались весьма малы и носили в значительной мере случайный характер, они были сопоставимы с погрешностью измерений. В дальнейшем, в течение достаточно длительного времени, измеряемого месяцами, показания датчиков, установленных в постоянную обделку, оставались практически постоянными. Этот результат был получен как в обделках с каркасным армированием, так и в обделках с армированием сетками. Показания датчиков в набрызг-бетонной крепи за этот же период практически не изменились. Такой результат свидетельствует о том, что после стабилизации системы «временная крепь-массив», если такая стабилизация достигается, нагрузки от горного давления на постоянную обделку практически не передаются. Примерно к такому же выводу пришли и австралийские специалисты-под-

земщики, сообщившие на Всемирном тоннельном конгрессе в Осло (2000 г.), что, принимая во внимание этот факт, они часто постоянную обделку тоннеля вообще не армируют.

Следует отметить, что уровень напряжений в крепи, при котором наступает стабилизация системы «крепь-массив», зависит не только от глубины заложения тоннеля, размеров и формы поперечного сечения выработки, геологических свойств горных пород, но и от ряда технологических факторов. Поэтому важной задачей мониторинга крепи является отслеживание ее деформаций и критическая оценка достигнутого уровня стабилизации. В случае возрастания деформаций необходимо принимать меры по усилению крепи (ставить дополнительные анкера или арки и т. п.) или возводить постоянную обделку.

Набор горнотехнических мероприятий и средств для их технического осуществления, наиболее эффективных в данных условиях строительства, должен быть всегда продуман и обеспечен заранее, до начала проходки, чтобы не терять драгоценного времени, когда придется усиливать крепь в срочном порядке.

С другой стороны, если во время проходки выработки по технологии НАТМ выяснится (по показаниям датчиков и маркшейдерским измерениям), что НДС крепи достаточно далеко от

предельного, то целесообразно пересмотреть параметры крепи в сторону ее облегчения. На рассматриваемом объекте все решения по обеспечению безопасной проходки принимались руководством ТО-6 совместно с начальником участка, маркшейдером, проектировщиками и специалистами, проводящими мониторинг; на основе анализа его результатов.

Надежность решений, принимаемых на основании результатов мониторинга, зависит от количества контрольно-измерительных сечений и периодичности измерений. На упомянутом выше перегоне измерительные сечения были организованы примерно через каждые 100-150 м. Измерения проводили в следующем режиме: первую неделю после установки датчиков – ежедневно; в течение второй недели – дважды; в течение третьей и четвертой недели – раз в неделю; в последующие месяцы – раз в месяц. На практике мониторинг НДС крепи, как правило, ведется только в период до возведения обделки. Дальнейшие измерения НДС крепи представляют по большей части академический интерес, позволяя увеличивать банк данных о взаимодействии временной крепи и постоянной обделки.

В процессе строительства перегонного тоннеля и камеры СТП руководство ТО-6 регулярно проводило совещания с обсуждением состояния крепи по результатам мониторинга с участием специалистов НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС и СКТБ «Тоннельмострой», осуществлявших мониторинг. На совещаниях вырабатывались и принимались решения по корректировке технологии проходки и возведения крепи. При этом оценивали опасность для крепи и целиков между параллельными тоннелями во время прохода забоя отстающего тоннеля (проходку которого вели буровзрывным способом), а также принимали решение по технологии разработки штросс в камере СТП и т. д. Во всех случаях принимаемые решения основывались на количественных оценках НДС крепи.

Мониторинг крепи продолжали и после окончания бетонирования свода постоянной обделки камеры СТП. Кабели от датчиков были выведены через обделку внутрь камеры. Два последних съема показаний с датчиков с интервалом в 5 месяцев (рис. 4) выполнили уже после сооружения железобетонного свода обделки. Результаты свидетельствуют о полной стабилизации НДС крепи.

Работы в нижней части камеры воздействий на НДС крепи практически не оказывали.

ВЫВОДЫ

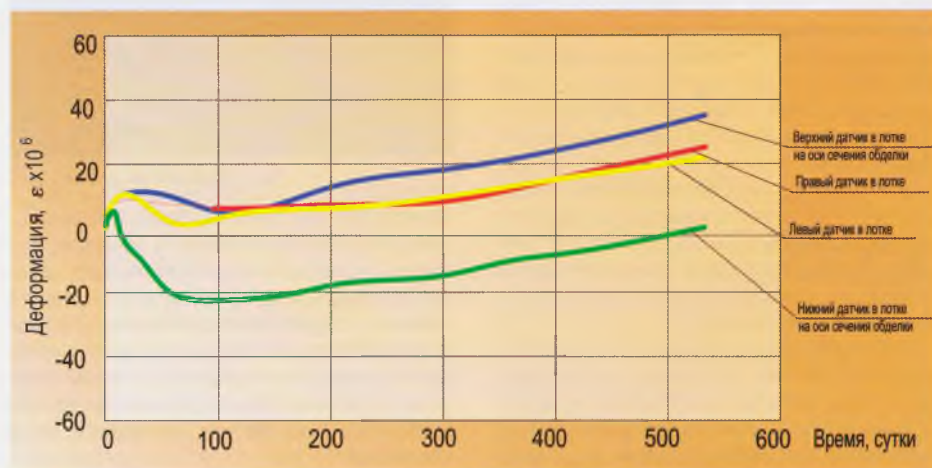
1. Мониторинг НДС временной крепи является неотъемлемой и важной частью технологии НАТМ, так как позволяет на основании объективных количественных данных принимать обоснованные оперативные решения по конструкциям и технологиям.

2. Принимая во внимание важность данных о состоянии крепи, получаемых в процессе мониторинга, в будущем рекомендуется расходы на проведение мониторинга и разработку мероприятий по обеспечению надежности крепи включать в смету строительства тоннеля отдельной статьёй.

3. Во время «ремонтных» перерывов в технологической цепочке операций строительства необходимо предусматривать помощь специалистам, ведущим мониторинг, в организации условий для проведения измерений.



Рис. 6. Деформации плоского лотка железобетонной обделки перегонного тоннеля



ВОЗВЕДЕНИЕ ОБДЕЛКИ

И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЬНОЙ ОПАЛУБКИ



В. В. Балыкин,
главный инженер ЗАО «ЮГСК»

Возведение обделки - это завершение цикла основных работ по сооружению тоннеля, которое производят обычно параллельно с раскрытием подземной выработки в соответствии с основным правилом тоннелестроения, заключающемся в необходимости до минимума сократить период пребывания выработки на временной крепи. Это особенно актуально в зонах возможного сейсмического воздействия на горный массив. Поэтому конструкция временной крепи тоннелей Кавказского региона, согласно проектам и расчетам, не позволяет находиться тоннелям длительный период без возведения постоянной обделки. Ярким примером служит строительство автомобильного тоннеля через перевал Шаумян в Туапсинском районе, начатое в 2000 г.

Инженерно-геологические условия сооружения автомобильного тоннеля (штольни) в целом характеризуются как сложные. Данный участок приурочен к западной оконечности главного Кавказского хребта, являющегося водоразделом бассейнов реки Пшиш на севере и реки Туапсе на юге.

В геологическом отношении участок строительства тоннеля сложен тонкослоистыми аргиллитами с прослоями алевролитов и песчаников. Породы смяты в складки и разбиты довольно густой сетью тектонических разломов в форме сбросов и сбросо-сдвигов.

Наиболее сложными являются участки врезки тоннеля и штольни с севера и юга, а также пересечения тектонических зон, в которых породы

совершенно неустойчивы за счет сильной трещиноватости и перетертости их до глин. Аргиллиты при замачивании водой переходят в совершенно неустойчивые породы. Общая протяженность неблагоприятных участков, с учетом выветрелых пород на врезках с порталов, - 30-35% от общей длины тоннеля.

Для проходки тоннеля протяженностью 309,8 м и штольни 357,9 м наиболее сложными являются припортальные участки длиной 92,1 и 125,3 м, а также зоны тектонических нарушений общей протяженностью 185,7 м. На перечисленных интервалах породы от слабоустойчивых до неустойчивых. Водопроявления отмечались в виде калежа, прерывистых струй, а также притока воды сплошными струями (дебит от 0,3 до 5,0 м³/час). В настоящее время имеет место высачивание воды через черновую обделку как тоннеля, так и штольни. В осенне-зимний период водопритоки резко возрастают. Временная крепь, выполненная при проходке в 2000-2001 гг., явно теряет несущую способность, на ней отмечается сеть трещин, количество которых со временем значительно увеличивается (рис. 1).

Необходимо также отметить наличие незначительного выделения вредных (сероводород) и взрывоопасных (метан и его группа) газов. Газоносность пород следует считать незначительной при условии обязательного выполнения вентиляционных мероприятий.

Исходя из вышесказанного и с учетом сейсмичности района (8 баллов), необходимо срочно предусмотреть в обязательном порядке гидроизоляцию и постоянную обделку разработанных выработок, а также устройство



Рис. 1. Фрагмент разрушения арок

вентиляционной системы. Возведение постоянной обделки целесообразно начать немедленно, т. к. согласно проекту ее отставание допускается до 200 м от забоя, т. е., исходя из темпов проходки 50 м/мес., тоннель в черновой обделке должен находиться до 4-х месяцев. Фактически он в таком состоянии находится около трех лет, и черновая обделка уже выработала свой ресурс, предусмотренный проектом.

Дальнейшее отсутствие финансирования неизбежно приводит к необходимости длительного ведения обслуживающих процессов, что неминуемо повышает стоимость строительства.

В результате хронического недофинансирования и незавершения полного технологического цикла повышается угроза деформации выработки и создание аварийной ситуации в виде обрушений, обвалов, что в будущем приведет к дополнительному вложению средств по их ликвидации и неоправданному удорожанию объекта.

Таким образом, для сохранения целостности сооружений необходимо срочно возобновить работы или произвести их консервацию.

Последовательная организация работ по сооружению тоннелей целесообразна только тогда, когда возможно значительное сокращение одновременно используемых рабочей силы и других ресурсов, более четкая организация основных производственных процессов, проводимых без взаимных помех. Однако здесь налицо увеличение сроков строительства, а также увеличение материальных затрат на создание такой конструкции временной крепи, которая позволяла бы выработке длительный период времени находиться без постоянной обделки. Исходя из опыта сооружений тоннелей, такая схема может быть оправдана лишь на коротких тоннелях длиной до 500 м, проходка которых не лимитируется общим сроком ввода в эксплуатацию участка дороги. При нашей организации принята параллельная схема строительства (рис. 2), позволяющая при использовании современных способов проходки и высокотехнологичного оборудования за короткий период времени создавать достаточный отход забоя, и затем более быстрыми темпами, чем продвижение забоя сооружать постоянную обделку из расчета, что при окончании проходки ее отставание будет составлять 60-70 м.

Наличие современных высокопроизводительных комплексов не ставит под сомнение применение монолитных обделок, обеспечивающих достаточные скорости и качество сооружения тоннелей. Однако это также требует весьма четкой организации бетонного хозяйства, позволяющего без перерыва доставлять бетонную смесь к месту укладки, что возможно только при стабильном финансировании строительства.

На всех сооружаемых тоннелях нашего региона применяется современная технология пленочной гидроизоляции, дающая возможность получить «сухой» тоннель, защищенный от проникновения воды через обделку, что увеличивает гидростатическое давление подземных вод на сооружение, которое снимается сетью дренажных скважин, расположенных в основании обделки, которые выполняются после возведения обратного свода, и вода отводится по дренажным лоткам. Бесконтрольный выход воды при незамкнутой обделке приводит к обводнению основания тоннеля, возможным просадкам и деформациям крепи.

ЗАО «ЮГСК» сооружен и эксплуатируется Магистральский тоннель, начато и остановлено строительство Шаумянского и Краснополянского автодорожных тоннелей под габарит Г-8,5. Врезки тоннелей производились под экраном из труб (рис. 3) обуренным станком «Тонэ-Боринг» (производства Японии) из припортовой выемки. В зависимости от геологических условий экраны устраивались как однорядные, так и двухрядные глубиной до 30-40 м. После обуривания и обсадки скважин в них произво-

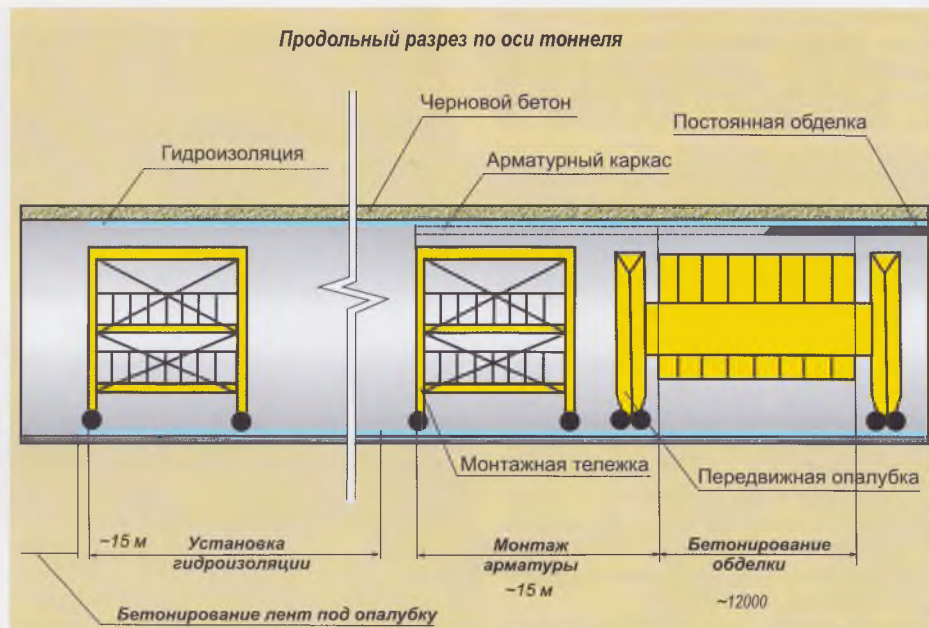


Рис. 2. Комплекс по возведению постоянной обделки

дилось нагнетание цементных растворов с добавками давлением до 10 атм. для цементации затрубного пространства и закрепления горного массива.

Применение экранов из труб позволяет значительно сократить объем припортовых выемок, срок и качество врезки тоннеля в горный массив.

Во время проходки приходилось преодолевать многочисленные зоны геологических разломов и зон активного обводнения пород. Все они успешно преодолевались путем использования метода опережающего крепления арматурными или трубными штангами, устанавливаемыми при помощи буровых установок «Тамрок» и «Фурукава», а также крепления цементацией и силикатизацией неустойчивого горного массива. Гидростатическое давление и обводненность массива снимались при помощи дренажных скважин диаметром 150 мм длиной до 150 м, обуренных параллельно оси тоннеля станком «Тонэ-Боринг».

На всех этих тоннелях, в зависимости от горно-геологических и гидрологических условий, применены различные способы сооружения

постоянной обделки. Проходка производилась уступным способом (рис. 4). Сначала сооружалась калоттная часть с возведением временной аркобетонной крепи в менее устойчивых породах и монолитной безарочной с помощью передвижной опалубки в породах крепостью $f=2-3$ и более. Нижняя часть тоннеля разрабатывалась в устойчивых грунтах сразу за продвижением калотты. Сооружение обделки производилось на полное сечение передвижной механизированной опалубкой длиной 9 м собственного изготовления.

Каждый элемент обделки требует дополнительной подготовки перед наращиванием или последующим продольным удлинением конструкции. Это - зачистка выступающих армокаркасов, плоскости ранее уложенного бетона, дополнительная отторцовка и ее крепление, применение менее совершенного способа вибрирования бетонной смеси.

Как мы видим, возведение постоянной обделки по частям очень многодельно и трудоемко.

Представленная на рис. 5 опалубка запроектирована и изготовлена по техническому заданию ЮГСК для Краснополянского автодо-

Рис. 3. Врезка тоннеля по технологии экрана из труб



рожного тоннеля протяженностью 2,4 км, габарита Г-8,5 в устойчивых скальных грунтах. Данная опалубка - универсальная, механизированная, позволяет сооружать как нормальное сечение габарита на полное сечение, так и сечения камер аварийного отстоя транспорта левого или правого расположения шириной 13,5 м (рис. 6). Трансформация опалубки производится за 2,5 ч в следующей последовательности: разбалчивание стыка свода опалубки; раздвижка влево (или право) от оси тоннеля при помощи гидравлических цилиндров на шарнирных вставках в своде; фиксация вставки болтовыми соединениями в рабочее положение.

При использовании опалубки исключается ряд операций, присущих возведению конструкции по частям:

- улучшается качество отделки, т. к. укладка бетона ведется непрерывно на 9-метровом интервале и, поднимая бетон до свода с исключением холодных швов, обеспечивается монолитный 9-метровый конструктив;
- учитывая предварительную подготовку - оклеечную гидроизоляцию по всему периметру, сборку армокаркасов, их раскрепление, достигается поточное возведение монолитной конструкции;
- установка на оболочке стационарных вибраторов позволяет дозировать и своевременно уплотнять укладываемую бетонную смесь;
- стационарная разводка бетоноводов по длине и ярусам дает возможность без перерыва бетоноводов и без перерывов во времени производить подачу и укладку бетона в конструкцию;
- торцевая часть опалубки оборудована зажимом, обеспечивающим быструю отторцовку заходки без подгонки длины досок, что резко сокращает ручной труд и трудозатраты в целом.

Отрыв опалубки механизирован. С помощью гидроцилиндров производится отрыв боковых секций поочередно. Затем, отпуская фиксацию свода, осуществляется отрыв сводовой части опалубки за счет собственного веса.

Перемещение ее также механизировано. В отличие от аналогов, в этой опалубке нет редукторов и приводов (карданных, цепных, червячных и т. д.).

При движении штока гидроцилиндра захват цепляется за головки рельсов и происходит перемещение опалубки. При движении штока в

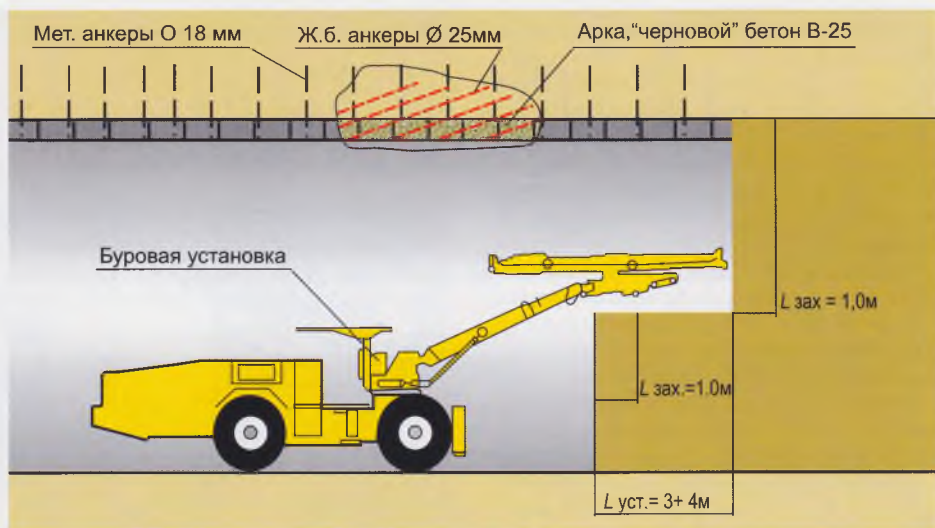


Рис. 4. Уступный способ проходки

противоположную сторону - захват скользит по рельсам без зацепления. Направление рабочего хода определяется местоположением упора захвата.

Кроме высокой механизации всех технологических процессов, связанных с возведением постоянной отделки, данная опалубка позволяет с высокой точностью сооружать конструкции с радиусом кривой в 300 м.

Благодаря эффективно разработанному узлу оболочка может перемещаться относительно конструктивной рамы в поперечном, вертикальном и продольном направлениях. Поэтому установка заходок возможна без отклонений, что также способствует достижению высокого качества производимых работ.

В породах, не позволяющих раскрыть выработку на полное сечение, проходка нижней части выполнялась под сводом из постоянной отделки, сооруженной передвижной механизированной опалубкой «Сага-Когио» длиной 9 м. Сначала разрабатывались штроссы и бетонировались стены в шахматном порядке по длине тоннеля, а после набора бетоном необходимой прочности разрабатывалось ядро, и бетонировался обратный свод. Скорость возведения отделки калоттной части таким способом достигала 70 м/мес., разработки и бетонирования штросс - 145 м/мес., ядра и обратного свода -

150 м/мес.

В более благоприятных горно-геологических условиях разрабатывались штроссы с возведением постоянной отделки тоннеля, затем по готовым стенам при помощи передвижной механизированной опалубки собственного изготовления длиной 6 м возводилась постоянная отделка калоттной части. Затем со скоростью 200 м/мес. под готовой отделкой производилась выемка ядра и возведение обратного свода.

При всех способах сразу после замыкания отделки обратным сводом осуществлялось разбуривание дренажных скважин для уменьшения гидростатического воздействия на постоянную конструкцию.

Наличие горнопроходческой техники, такой как буровые установки «Тамрок», «Фурукава», «Тонэ-Боринг», «Диамек», погрузочных машин ПНБ-3Д и ПНБ-4, автопоездов МОАЗ, горнопроходческих комбайнов АТМ-75 австрийского производства, передвижных механизированных комплексов для сооружения постоянной отделки «Сага-Когио» и собственного изготовления позволяет выполнять работы по сооружению транспортных тоннелей в различных условиях с высоким качеством и скоростями, вводить дороги по срокам, не определяющим период строительства тоннелей.



Рис. 5. Конструкция передвижной опалубки

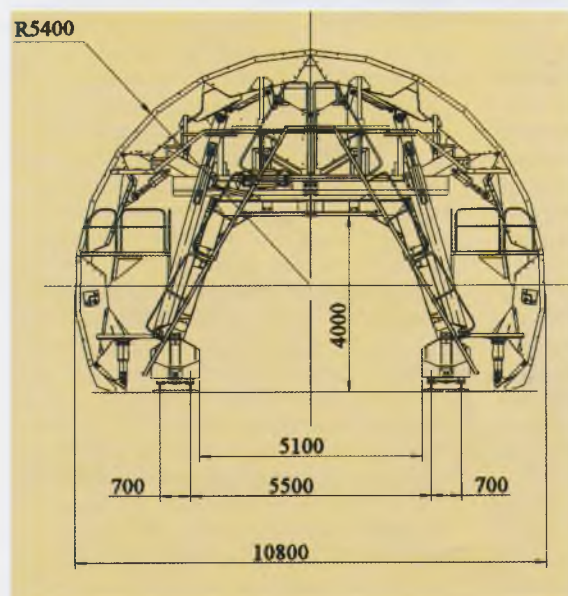
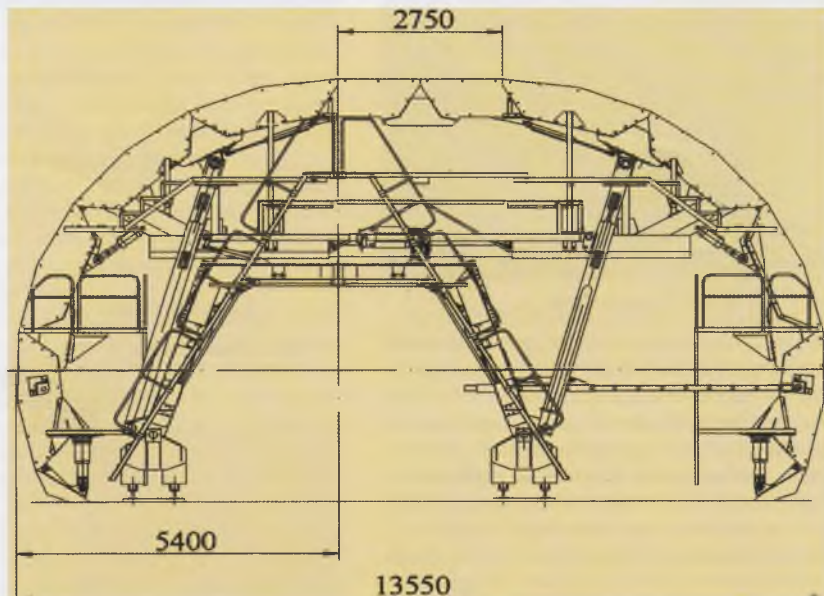


Рис. 6. Расширение опалубки



ТАРМАНЧУКАНСКИЙ ТОННЕЛЬ

А. В. Яковлев,
В. Г. Лозин,

ПНИ «Бамтоннельпроект»

Проект прокладки нового двухпутного Тарманчуканского тоннеля на Дальневосточной железной дороге разработан проектно-изыскательским институтом «Бамтоннельпроект» с привлечением субподрядной организации – института ОАО «Дальгипротранс» в 1990 г. Строительство тоннеля начато в том же году, а ввод в эксплуатацию планируется в 2004 г.

Генеральным подрядчиком строительства является ОАО «Бамтоннельстрой».

Сооружаемый двухпутный железнодорожный тоннель протяженностью 2030 пог. м расположен в Архаринском районе Амурской области. Тоннель односкатный с уклоном 5,5‰. С запада на восток с южной стороны он проходит от действующего тоннеля на расстоянии 60-70 м в осях. В плане припортальные участки расположены на кривой R1200, центральная часть – на прямой. Тоннель относится к разряду перевальных и пересекает отроги Хинганского хребта. Сечение при проходке составляло до 130 м².

В связи с удаленностью Тарманчуканского тоннеля от объектов стройиндустрии предусмотрено создание временных строительных площадок, имеющих весь комплекс сооружений и обустройств, обеспечивающих нормальный процесс строительного производства в забоях и на поверхности.

Комплекс временных зданий и сооружений размещается на двух стройплощадках Восточного и Западного порталов.

Пересекаемый тоннелем горный массив сложен толщей переслаивающихся гнейсов и сланцев различной степени крепости и устойчивости, осложненный значительной тектонической проработкой массива. Коэффициент крепости грунтов колеблется от 1 до 10 по шкале Протодяконова. Наиболее сложные условия на припортальных участках, где развиты элювиальные породы.

Врезка со стороны Восточного и Западного порталов осуществлялась в сильновыветрелых переслаивающихся сланцах и гнейсах, осложненная двумя сериями тектонических нарушений, состоящих из трещин. Породы – слабой устойчивости и совершенно неустойчивые. Для предотвращения обрушения лобового откоса при врезках и вывалов породы на припортальных участках до начала горных работ были выполнены мероприятия по возведению защитного свода из труб.

В центральной части проходки тоннеля велась в относительно благоприятных условиях. Однако этот интервал осложнен двумя зонами тектонических разломов.

Сооружение тоннеля осуществлялось с двух порталов способом нижнего уступа с использованием метода контурного взрывания. Величина заходки составляла от 1 до 3 м в зависимости от инженерно-геологических условий. Временное крепление выработки – арки из двутавра № 30 с «черновым» бетоном.

При проходке тоннеля в крепких породах временное крепление выработки выполнялось из «чернового» бетона без арок. Для его укладки использовалась скользящая металлическая опалубка длиной 3 м, разработанная специалистами ТО-12 ОАО «Бамтоннельстрой». Применение данной опалубки позволило увеличить скорости проход-



Строительство вентздания со стороны Западного портала

ки и безопасность ведения работ при возведении временного крепления выработки.

Устройство постоянной обделки производится с отставанием от забоя до 50 м.

Для механизированной укладки бетона при возведении постоянной обделки использовались передвижные механизированные опалубки «Вартингтон» L = 9 м.

Особенностью сооружения постоянной обделки явилось то, что тоннель на своем протяжении имеет два типа размера внутреннего сечения (для прямой и кривой), вследствие чего при бетонировании потребовался перемонтаж опалубки (изменение величины прямой вставки в конце линейных кривых).

Подача бетона в тоннель и укладка его за опалубку и в обратный свод производилась пневмобетоноукладчиком «Фусо».

Гидроизоляционные работы (первичное, контрольное нагнетание, водоподдавление) велись с технологических тележек, позволяющих иметь

доступ к любой точке сечения, и оснащенных комплексом грузоподъемных устройств.

В целях повышения водонепроницаемости и морозостойкости постоянной обделки тоннеля ее поверхность обработана защитным составом «Кальматрон».

В связи с большой обводненностью тоннеля по предложению ООО ПНИ «Бамтоннельпроект» и ОАО «Бамтоннельстрой» в августе 2002 г. Министерством путей сообщения было принято решение о строительстве транспортно-дренажной штольни параллельно тоннелю. Сооружение штольни планируется выполнить с использованием ТПМК «Lovat» RME139SE диаметром 3,6 м. Длина штольни с комплексом дренажных скважин составляет 2030 пог. м.

После проходческих работ и возведения постоянной обделки тоннеля производится укладка верхнего строения пути безбалластной конструкции. С восточной и западной стороны порталы оборудованы вентзданиями.



Вентздание со стороны Восточного портала. Монтаж ТПМК «Lovat» RME139SE



РАЗВИТИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

М. Г. Бикинцев,

главный специалист института
«Гидроспецпроект», канд. техн. наук

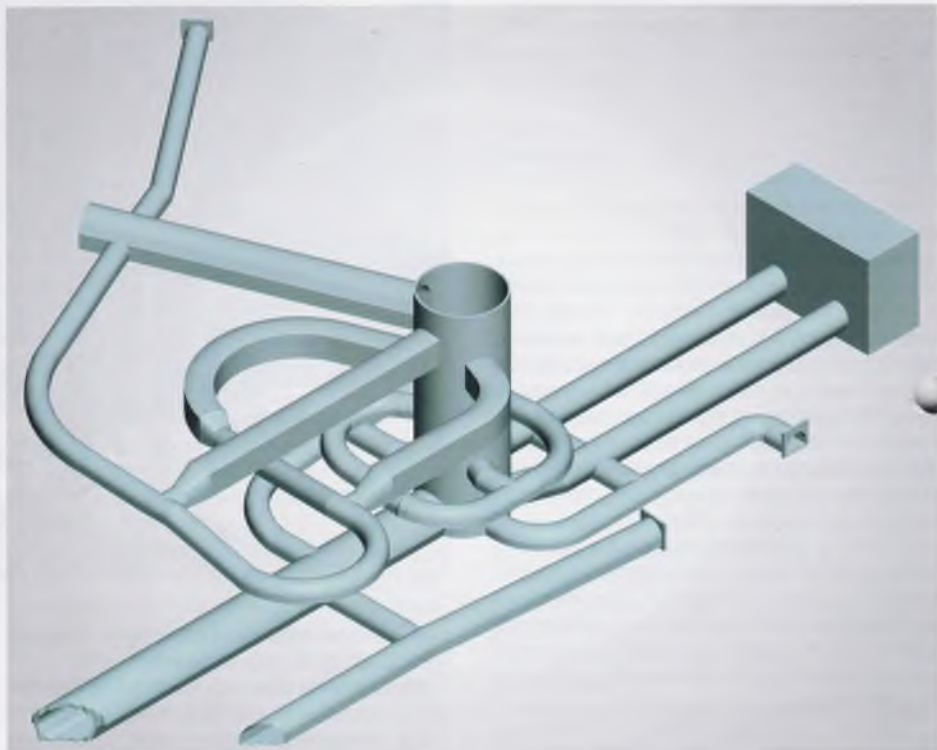
Становление подземной гидротехнической отрасли началось с сооружения тоннелей Нурекской и Токтогульской ГЭС. Именно при строительстве выработок большого сечения этих гидроузлов, в традиционную для того времени технологию проходки тоннелей, было внесено два кардинальных изменения, которые в наибольшей степени определили эффективность подземного гидротехнического (и не только) строительства на многие десятилетия вперед.

Первое принципиальное отличие – широкое использование более производительного самоходного бурового, погрузочного и транспортного оборудования на колесном и гусеничном ходу, вместо мало-мощного на рельсовом ходу.

Второе отличие – отказ от неэффективного арочного крепления (особенно в тоннелях большого сечения) и широкое внедрение облегченных крепей в составе анкеров различного вида (железобетонные, клиновые, распорные и т. д.) и тонкостенных покрытий из торкрета, набрызг-бетона или металлической сетки в породах средней и малой прочности.

Позднее при возведении Токтогульской, Курпайской и Миатлинской ГЭС впервые в стране были внедрены конструкции из железобетонных анкеров в сочетании с набрызг-бетоном в качестве постоянных обделок и для гидротехнических тоннелей, расположенных в породах средней и малой прочности. Такое решение позволило сэкономить значительные средства и, самое главное, сократить сроки строительства в 1,5-2 раза.

Особый интерес представляет конструкция и технология сооружения шахты уравнительного резервуара Миатлинской ГЭС диаметром 27 м и глубиной 75 м, выполненные на уровне изобретения. Конструкция комплекса уравнительного резервуара деривационной ГЭС включает шахту большого диаметра, четыре подземные камеры большого сечения и два тоннеля: аэрационный и спиральный. Аэрационный компенсационный тоннель, являясь элементом конструкции комплекса уравнительного резервуара, улучшает его работу, сокращая время и снижая амплитуду колебаний воды в момент гашения гидравлического удара.



Аксонометрическая схема подземных сооружений концевой части деривации Миатлинской ГЭС

Однако появление аэрационного и спирального тоннелей вызвано, в первую очередь, технологическими требованиями обеспечения транспортных подходов к шахте через каждые 8 м по ее высоте для строительства шахты большого диаметра с применением отработанной индустриальной технологии сооружения нижних уступов тоннелей большого сечения. В этом случае разработка породы выполняется методом скважинных зарядов, а для погрузки и транспорта породы, доставки материалов можно использовать большегрузные автопогрузчики и автомобили.

Другой примечательный объект – Гимринский автодорожный тоннель длиной 4,3 км (самый протяженный из построенных в России и странах СНГ автодорожных тоннелей), расположенный в Дагестане на подъездной дороге к Ирганайской ГЭС. Комплекс состоит из собственно тоннеля и дренажно-вентиляционной штольни (ДВШ), расположенной параллельно автодорожному тоннелю. Они соединены между собой через каждые 300 м вентиляционными сбойками.

Институт «Гидроспецпроект» разработал проект технологии строительства протяженного тоннеля только с порталов двумя встречными забоями с применением большегрузного автотранспорта и самоходного

горнопроходческого оборудования и с использованием беструбной схемы проветривания проходческих забоев. Свежий воздух вентилятором главного проветривания подавался по всему сечению ДВШ до ближайшей к забоям тоннеля и штольни сбойки, откуда на длину не более 500-600 м поступал по вентиляционным трубам в проходческие забои.

Необходимо отметить, что стройки подземных комплексов – Токтогульской и, особенно, Нурекской ГЭС (общая протяженность тоннелей гидроузла составляет около 35 км) – явились настоящими исследовательскими полигонами, на которых были отработаны многие конструктивные и технологические решения, позволившие совершить качественный и количественный рывок в подземном гидротехническом строительстве. Среди наиболее важных разработок того периода необходимо назвать следующие:

- использование контурного («гладкого») взрывания;
- бескопровой способ проходки глубоких шахт большого сечения;
- проходка наклонных водоводов большого сечения длиной 250 м и более под углом 45° с последующим их бетонированием безлюдным способом с применением литых бетонов;



Комплекс САПР «Тоннель», предназначенный для выполнения проектов

– широкое применение передвижных механизированных и шагающих опалубок при бетонировании большепролетных тоннелей и др.

Наиболее сложным объектом, из построенных на территории бывшего СССР, является самый протяженный тоннель Арпа-Севан в Армении длиной 48,3 км. Огромный, многоплановый опыт, который был приобретен на строительстве тоннеля Арпа-Севан, трудно переоценить. Ведь в процессе его сооружения были зафиксированы выбросы породы и газа, явление дотоле неизвестное в мировой практике ведения подземных работ в изверженных породах. Объем отдельных выбросов достигал 150 тыс. м³; водопритоки грунтовых вод на один забой составляли 1000 м³/ч. Имели место и другие сложные проблемы, связанные, например, с проветриванием протяженных выработок – длина плеча тушиковых забоев достигала 5 км и более при температуре воздуха в тоннеле около 40° С.

Кроме этого в процессе строительства тоннеля Арпа-Севан, было зафиксировано сверхвысокое горное давление до 4 МПа (400 т/м²), для восприятия которого институтом «Гидроспецпроект» была запроектирована и успешно внедрена специальная конструкция сборной железобетонной обделки толщиной 50 см с виниловыми прокладками в плоских стыках блоков, которая воспринимала расчетное давление за счет податливости, по типу блочных сборных обделок односводчатых станций метрополитена. Для справки: несколько типов многослойных обделок из чугуна, железобетона и стали общей толщиной до 1 м при восприятии указанного сверхвысокого давления испытывали чрезмерные деформации и разрушались.

Из проектов, выполненных институтом «Гидроспецпроект» в последнее десятилетие, следует выделить разработку ПОСов на сооружение подземной части торгово-рекреационного комплекса на Манежной площади и транспортного тоннеля под площадью Гагарина, подготовку тендер-

ных проработок альтернативного варианта конструкции и технологии строительства автодорожного тоннеля в Лефортове, а также проектов тоннеля новой системы водоснабжения г. Ставрополя, ирригационного тоннеля для орошения Южных Алеппских земель в Сирийской Арабской Республике, коммуникационного – для переброски нефтепродуктов под Маркхотским хребтом близ г. Новороссийска, ПОС на сооружение транспортного тоннеля «Балтия» и др.

Для ускорения и повышения качества разработки проектов в Гидроспецпроекте создан комплекс САПР «Тоннель», предназначенный для выполнения проектов и рабочей документации напорных и безнапорных гидротехнических тоннелей, цементационных и дренажных штолен, проходных выработок и автодорожных тоннелей в составе подземных комплексов гидроэлектростанций в широком диапазоне конфигурации обделок, размеров поперечного сечения (от 4 до 300 м²) и широкого спектра геологических условий. Практически САПР «Тоннель» позволяет в полностью автоматизированном режиме выполнять все виды расчетов и чертежи в объеме не менее 60-70% от полного состава проекта.

К настоящему времени с использованием САПР «Тоннель» выполнены проекты многих тоннелей (расчет конструкции временных крепей деривационных тоннелей Ирганайской ГЭС, обделки транспортных тоннелей Рогунской ГЭС, водоводов ГЭС Капанда в Анголе, Майнакской ГЭС в Казахстане и многие др.). В наибольшей степени в практическом проектировании тоннелей различного назначения используются пакеты прикладных программ автоматизированного создания чертежей проектов арочного крепления, и паспортов БВР, которые могут работать в автономном режиме, отдельно от системы.

Однако за последнее десятилетие компьютерная техника и системные программные средства сделали огромный рывок вперед и, к сожалению, комплекс САПР

«Тоннель», оставаясь непревзойденным по своим возможностям автоматизированной разработки всех частей проекта тоннелей, морально устаревает из-за привязки к операционной системе DOS и AutoCAD версии 10. Модернизация же ее при малых объемах проектирования (4-5 проектов в год) и строительства тоннелей финансово не выгодна.

Помимо автоматизации процесса проектирования подземных сооружений, сфера научных интересов института охватывает: технологию строительства тоннелей большого сечения в слабоустойчивых породах; борьбу с выбросоопасностью пород в процессе проходки тоннелей; методы расчета временных и постоянных крепей тоннелей из набрызг-бетона в сочетании с анкерами различного вида (подготовлены предложения по уточнению методик расчетов, заложенных в СНиП 2.06.09-84, ВСН 126-90 и ВСН 49-86) и др. Кстати, предложения Гидроспецпроекта по уточнению нормативных методов расчета облегченных тоннельных крепей из набрызг-бетона в сочетании с анкерами, стали возможными также благодаря компьютерным технологиям проектирования. Еще в бытность «ручного» проектирования параметров анкерного крепления было замечено, что при определенных сочетаниях размеров подземной выработки и прочностных свойств вмещающих пород имели место трудно объяснимые «выпуски» численных параметров облегченной крепи – длины и шага анкеров, толщины набрызг-бетонного покрытия. Появление компьютерных технологий проектирования позволило выполнить детальное расчетное исследование СНиПовских методик расчета облегченного крепления во всем диапазоне их применимости. В результате были выявлены все «узкие» места, проанализированы причины их появления и даны предложения по уточнению методов расчета облегченного крепления в нормативных документах по проектированию транспортных и гидротехнических тоннелей.

МЕТОДИКА, ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

В. Ф. Грачев,

начальник лаборатории
ФГУП НИИЭФА им. Д.В. Ефремова,
Санкт-Петербург

В. П. Герасимов,

заместитель директора по научной
работе ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»

А. В. Мизинцев,

генеральный директор
ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»

Ю. И. Плотников,

профессор, ООО «САТУРН»

Ю. М. Равинский,

директор по маркетингу и сбыту
ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»

Ю. Г. Сердюк,

начальник ПТО службы
электрооборудования Петербургского
метрополитена

Анализ технического состояния электрооборудования Петербургского метрополитена, запуск которого в эксплуатацию начался еще в 1955 г., показывает, что оно выработало свой ресурс в среднем на 50-60% и более. Затраты на его техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) растут. Причем одновременно увеличивается объем и интенсивность пассажирских перевозок, что в целом не способствует надежности, безаварийности и эффективности работы метрополитена.

Одним из путей улучшения данной ситуации является внедрение в практику эксплуатации тяговых подстанций (ТП) новейших методов и средств технической диагностики. В этом случае появляется возмож-

ность проводить ТО и Р не по регламенту, а по фактическому состоянию оборудования. Тем самым снижаются материальные, людские и финансовые ресурсы при одновременном повышении надежности, безаварийности и эффективности ТП и метрополитена в целом.

Ниже рассматривается одна из составляющих систем диагностирования метрополитена, а, именно, система оценки технического состояния многочисленных контактных соединений (КС) электрооборудования ТП по его инфракрасному (ИК) излучению. Система, в основном, состоит из новейших компьютеризированных тепловизионной и видео камер и специального методического и программного обеспечения.

Аппаратные средства тепловизионной системы диагностирования оборудования ТП

Основным элементом тепловизионной системы является ИК камера ТН7102 фирмы Nec San-ei (производство Япония - США) со скоростным цифровым портом IEEE 1394 (рис. 1). Она имеет полную автоматическую установку фокуса, чувствительности, температурного диапазона, автоматическую коррекцию на внешнюю оптику и пропускание атмосферы. Титановый корпус и герметичность исполнения обеспечивают работу камеры в сильных электромагнитных полях, высокую стойкость против ударов (30g) и вибраций (3g). Запись термоизображений ведется на съемную карту памяти 512 Мб, что позволяет записать до 1500 ИК-изображений с речевыми комментариями.

Для совмещения тепловизионных изображений электрооборудования ТП с видеомыми, использовалась цифровая камера CANON Power Shot Pro90 IS.

Все параметры при съемке устанавливаются автоматически. Запись изображений производится на съемную карту памяти объемом 512 Мб, что позволяет записать до 250 видеоизображений электрооборудования ТП.

При необходимости обработки диагностической информации в реальном масштабе времени, ИК и видео камеры подключаются соответственно по цифровым портам



Рис. 1. Внешний вид тепловизионной камеры ТН7102: а – вид сбоку; б – вид сзади

IEEE1394 и USB к носимому компьютеру типа Notebook. Здесь по специально разработанной программе, в основе которой лежит методика тепловизионной диагностики, производится оценка технического состояния соответствующего оборудования, выдаются рекомендации о проведении того или иного ТО и Р, создается база данных и протокол результатов тепловизионных обследований

Основы методики тепловизионной диагностики контактных соединений

Качество КС, предназначенных для электрического соединения проводов, кабелей, ошиновки электроустановок, подвижных контактов и других токоведущих соединений (болтовые, сварные, выполненные методом обжатия и т. д.), определя-

лось с помощью двух диагностических показателей:

- коэффициент дефектности по перегреву K_d электрического контакта или ответвления, выполненного с помощью того или иного вида соединения;

- по избыточной температуре T аналогичных КС других фаз при $0,5I_{ном}$.

Коэффициент дефектности K_d по своей физической сущности определяется отношением удельного теплового потока Джоуля, выделившегося в контактное соединение или ответвлении, к удельному тепловому потоку, выделяющемуся на проводе вне КС. Удельный тепловой поток с поверхности, вследствие теплоотдачи к окружающему воздуху и теплового излучения, определяется выражением:

$$q = \alpha \cdot (T - T_0), \text{ Вт/м}^2,$$

где α – эффективный коэффициент теплоотдачи с поверхности;



T – температура поверхности;
 T_0 – температура окружающего воздуха.
Тогда формула для коэффициента дефектности K_d принимает следующий вид:

$$K_d = \frac{\Delta T_c}{\Delta T_{np}}, \quad (1)$$

где ΔT_c и ΔT_{np} – превышение температуры (перегрев) соединительного или ответвительного КС и соединяемого или ответвляемого провода вне арматуры (на расстоянии не менее 1 м от КС) над температурой окружающего воздуха при протекании по ним одного и того же тока, соответственно.

С другой стороны, учитывая известное выражение для теплоты Джоуля, можно записать:

$$K_d = \frac{I^2 R_c}{I^2 R_{np}} = \frac{R_c}{R_{np}}, \quad (2)$$

где I и R – соответственно сила тока и электрическое сопротивление. В общем случае, техническое состояние электрического контактного соединения определяется выражением:

$$R_c = f(S_c, M_c, I, \text{коррозия, нагар, ...}). \quad (3)$$

Здесь S_c , M_c – площадь контактного соединения и момент затяжки (для болтового соединения), соответственно.

Таким образом, оценивая отношение разности температур (1) с использованием тепловизора, можно косвенно оценить техническое состояние контактного соединения с использованием выражений (2) и (3).

Контактные соединения рекомендуется считать нормальными, если K_d не превышает 2 – для соединений «медь-медь», 4 – для соединений «медь-алюминий» и 6 – «алюминий-алюминий». Но к подобным рекомендациям следует относиться очень осторожно. Так, например, простой расчет показывает, что если температура окружающей среды $+20^\circ\text{C}$, превышение температуры провода над средой $+40^\circ\text{C}$, то при $K_d = 6$ для алюминия получаем превышение температуры контактного соединения над температурой воздуха 240°C . Абсолютная температура зажима будет 260°C , что противоречит здравому смыслу, так как при такой температуре зажим потеряет прочность и разрушится.

В энергетике, согласно Нормам испытаний, состояние контактного соединения классифицируется следующим образом:

$K_d < 1,2$ – начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем;

$1,2 \leq K_d \leq 1,5$ – развивающийся дефект, принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе оборудования из работы;

$K_d > 1,5$ – аварийный дефект, требует немедленного устранения или замены арматуры.

Для оценки предельных значений K_d в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» были проведены специальные стендовые испытания различной арматуры КС при широком спектре из-

менения токовой нагрузки. Было установлено, что K_d существенно зависит от величины тока, протекающего по соответствующему контактному соединению. Так, например, в диапазоне нагрузок от 100 до 300 А (при плотности тока $1-3 \text{ А/мм}^2$), состояние контактных соединений «медь-медь» может оцениваться как нормальное при $K_d = 1,2-1,7$. Аварийное состояние контактных соединений для данного диапазона нагрузок определялось при $K_d > 2,5$. Однако стендовые испытания имитировали только один вид дефекта (ослабление болтовых соединений) и не учитывали реальных условий эксплуатации КС: геометрические характеристики, распределение токов, влияние атмосферных условий и т. д. Оценка фактического состояния КС в процессе эксплуатации ТП метрополитена и соответствующих значений K_d с учетом реальных условий функционирования и внешних условий, широкого номенклатурного ряда КС и других факторов, должна быть выполнена в процессе специальных натурных испытаний на оборудовании ТП, имеющих различные сроки и условия службы и техническое состояние.

Учитывая, что в составе ТП метрополитена имеется множество аналогичного электрооборудования, работающего под одинаковыми нагрузками, запитанного с разных фаз, второй диагностический показатель, указанный выше, также оказался весьма полезным. Для контактов и болтовых КС при токах нагрузки $(0,3-0,6)I_{ном}$ оценка их состояния проводилась по избыточной температуре:

$$\Delta T = (\Delta T_A - \Delta T_B), \quad (4)$$

где индексы «А» и «В» соответствуют фазам аналогичных контактных соединений, а ΔT означает превышение температуры соответствующего КС над температурой окружающего воздуха.

В качестве норматива использовалось значение температуры, пересчитанное на $0,5I_{ном}$.

Для пересчета использовалось известное соотношение:

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{PAB}} = \left(\frac{0,5I_{ном}}{I_{PAB}} \right)^2, \quad (5)$$

где $\Delta T_{0,5}$ – избыточная температура при токе нагрузки $0,5I_{ном}$.

При оценке состояния контактов и болтовых КС по избыточной температуре и токе нагрузки $0,5I_{ном}$ различались следующие области по степени неисправности:

- избыточная температура $5-10^\circ\text{C}$ – начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения ремонта, запланированного по графику;

- избыточная температура $10-30^\circ\text{C}$ – развившийся дефект, принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы;

- избыточная температура $> 30^\circ\text{C}$ – аварийный дефект, требует немедленного устранения.

Используя уравнения (4) и (5) и оценивая температуры T с помощью тепловизора, появляется возможность оперативно, дистанционно и наглядно оценить состояние электрического контактного соединения того или иного типа в оборудовании ТП.

Представленные выше три градации диапазонов избыточной температуры ΔT также как и для K_d нуждаются в экспериментальной проверке и корректировке их граничных значений. Кроме того, на практике не всегда удастся обеспечить заданный интервал токовой нагрузки: $(0,3-0,6)I_{ном}$, и оперативно и достоверно оценить ток в различных фазах.

Анализ возможности тепловизионной оценки состояния масляной изоляции силовых кабелей

Теория термоэлектрического подобия и практика эксплуатации показывают, что электрический пробой твердого диэлектрика может наступить при электрической прочности $E_{пр} = 100-1000 \text{ МВ/м}$, а тепловой пробой при $E_{пр} = 1-10 \text{ МВ/м}$. То есть при одинаковых толщинах диэлектрика пробивное напряжение при тепловом пробое может оказаться в 100 раз меньше, чем при электрическом. В основном это связано с нарушением теплового равновесия диэлектрика при превышении его температуры выше критического значения.

В практике эксплуатации силовых маслонаполненных кабелей метрополитена постоянно стоит задача оценки степени заполнения изоляционным маслом бумажной фазной и поясной изоляции, что неразрывно связано с надежностью (возникновением КЗ) и пожаробезопасностью метрополитена.

На рис. 2 представлен (в упрощенном виде) гипотетический силовой 3-фазный бронированный кабель с масляно-бумажной изоляцией. Каждая фаза состоит из нескольких токопроводящих жил, окруженных фазной бумажно-масляной изоляцией. Все три фазы окружены поясной изоляцией из такого же материала. Далее идет общая оболочка, затем металлическая броня и, наконец, материал (резина или пластик) защитного наружного покрова силового кабеля в целом.

Таким образом, имеем шестислойную квазицилиндрическую стенку, состоящую из разнородных материалов. Ее пронизывает перпендикулярно осевой линии кабеля линейный тепловой поток Джоуля – Q_1 . Его значение пропорционально квадрату силы тока и электрическому сопротивлению 1 пог. м проводника. С другой стороны можно записать упрощенную формулу:

$$Q_1 = \frac{(T_{ж} - T_{нов})}{\sum R_i}, \text{ Вт/м}, \quad (6)$$

где $T_{ж}$ - температура жилы (проводника);
 $T_{нов}$ - температура наружной поверхности кабеля.

Термическое сопротивление:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (7)$$

где δ_i , λ_i - толщина (м), и коэффициент теплопроводности - Вт/(м·С) i-й оболочки кабеля, соответственно.

Опуская промежуточные вычисления, качественно отметим, что, так как $\lambda_{воздуха} = 0,025$ Вт/(м·С), а $\lambda_{масла} = 0,11$ Вт/(м·С), то при $Q_i = idem$, $T_{ж} = idem$, имеем, что температура на поверхности кабеля со стороны исправной жилы А, будет меньше, чем на поверхности кабеля со стороны жилы С (без масла). Это отношение температур будет прямо пропорционально отношению термических сопротивлений и составит 3-4 раза. Значение абсолютной разности ($T_c - T_a$), (рис. 2), можно вычислить, имея конструктивные и режимные параметры конкретного силового кабеля метрополитена. Необходимо отметить, что при этом отношении электрических прочностей составит:

$$\frac{E_{тм}}{E_{без тм}} = 7-8, \quad (8)$$

что непосредственно характеризует вероятность возникновения КЗ и возгорания кабеля.

Самые предварительные расчеты показывают, что обнаружение утечки изоляционного масла из силовых кабелей по перепадам температур на их поверхностях с использованием тепловизионного метода, представленной выше аппаратуры и кратко изложенной здесь основы методики диагностирования (б)-(8) вполне возможно. Причем расчеты показывают, что запас чувствительности тепловизионной камеры при обнаружении дефектных участков силовых кабелей метрополитена составляет в среднем 3-4° С.

Основные результаты тепловизионных диагностических обследований электрооборудования ТП Петербургского метрополитена на примере ТП ст. «Площадь Ленина»

Пробные тепловизионные обследования электрооборудования ТП ст. метро «Площадь Ленина» проводились сотрудниками ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» 2 апреля 2003 г. Во внутренних помещениях ТП температура воздуха в среднем составляла $T_0 = 18-19^\circ \text{С}$, относительная влажность 50-60%. В табл. 1 показан сводный перечень обследованного ИК-системой оборудования. Всего было обследовано 60 единиц электрооборудования различного назначения. Причем на это потребовалось менее 3 ч при участии двух человек (одного - для проведения ИК, и другого - для выполнения видеосъемки). Кроме то-

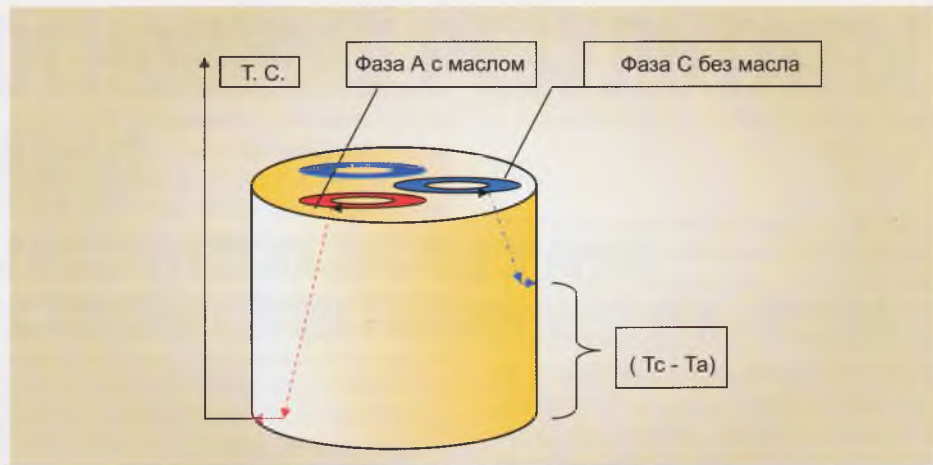


Рис. 2. Упрощенная схема 3-фазного силового кабеля и графики изменения температуры по толщине многослойной цилиндрической стенки: справа (показан синим цветом) - график температуры для неисправной жилы С (без масла), слева - для исправной жилы А (с маслом)

го, один человек из персонала ТП непосредственно обеспечивал проведение тепловизионных обследований и их электробезопасность.

В соответствии с изложенной выше методикой ИК-диагностики было выделено и проанализировано 11 объектов, техническое состояние которых было признано как неудовлетворительное. То есть их виды технического состояния были оценены как 1, 2 и 3-й в соответствии с изложенной выше классификацией.

Рассмотрим некоторые из этих объектов более подробно (рис. 3). На видео-изображении слева и справа показаны шины фаз А и С с трансформаторами тока. В средней части показана шина В с проходным изолятором. В правой верхней части ИК-изображения указаны дата и время съемки. В правой части термограммы представлена цветная цифровая шкала температур от +20,4° до +26° С с интервалом 0,7° С. Работа камеры проводилась в первом температурном диапазоне: от - 40° до + 120° С.

Чем светлее (желтее) цвет на термоизображении, тем выше температура соответствующего элемента. На термограмме качественно явно выделяется болтовой зажим на шине фазы С. В нижней части рис. 3б представлен график распределения температуры вдоль горизонтальной линии, выполненный в масштабе, который соответствует цветной шкале температуры.

В левом нижнем углу рис. 3 показаны координаты перекрестия курсора в районе дефекта и соответствующая температура болтового соединения $T = +26^\circ \text{С}$. Выше по шине С показана точка (а) с температурой $T = +23,7^\circ \text{С}$.

Обработка термограммы по специальной методике и программе показала, что для данного КС $K_d = 1,62$. Избыточная температура по сравнению с фазой А составила ($T_c - T_a$) = 5° С.

Неоднозначность оценки технического состояния болтового соединения фа-

зы С по двум диагностическим показателям объясняется следующими причинами. При оценке K_d расстояние от болтового соединения до точки (а) в конструктивных особенностях при ИК-съемке оказалось меньше 1 м. При оценке избыточной температуры в силу технических причин не было возможности оценить токовую нагрузку по всем трем фазам ВВ. Поэтому программой выдается рекомендация о состоянии объекта диагностирования: принимать решение по ТО и Р № 1 или 2.

Предлагаем некоторые фрагменты ИК-обследованного оборудования ТП (рис. 4, 5, 6). Специальных комментариев к ним кроме подрисовочных надписей в,

Таблица 1

Наименование электрооборудования ТП	Количество, единиц
1. Ячейки высоковольтных вводов (ВВ), шины 6 кВ	08
2. Кабельные отсеки фидеров 6 кВ	08
3. Трансформаторы силовые ТСК 6/1,7 кВ	03
4. Трансформатор напряжения 6 кВ/100 В	01
5. Трансформатор освещения ТО 1	01
6. Шинный разъединитель	01
7. Шкаф кремниевых выпрямителей	01
8. Высоковольтный выключатель	08
9. Трансформаторы тока 380 В	02
10. Рубильники освещения 220 В	02
11. Рубильник ввода щита 220/127 В	02
12. Ошиновка щита 220/127 В	02
13. Фидера щита 220/127 В	03
14. Проходная доска аккумуляторных батарей	01
15. Пускатель ВЗ 2 вентилятора	02
16. Пускатель ПЗ 2 вентилятора	02
17. "Прикамерок" в ячейке автомата 825 В фидера 102	01
18. "Прикамерок" в ячейке автомата 825 В фидера 103	01
19. Щит в ячейке автомата 825 В фидера 102	01
20. Ошиновка автомата 825 В фидера 103	02
21. Помещение аккумуляторных батарей, перемычки между банками батарей	23
22. Трансформатор ТСК-2 - высоковольтная сторона	01
60 ед.	

основном, не требуется.

Примеры низковольтного оборудования, в контактных соединениях которых выявлены значительные тепловые перегревы (рис. 7, 8).

Ниже отмечается особо выделенный, в результате тепловизионных обследований оборудования ТП, объект – трансформатор освещения ТО 1 (6 кВ/220/127 В). На рис. 9а представлено его видеоизображение, на рис. 9б – тепловизионное изображение и некоторые фрагменты компьютерной обработки теплового портрета трансформатора. Результаты программной обработки позволили выявить нарушение изоляции стягивающей шпильки магнитопровода трансформатора. К сожалению, различные ракурсы видео и ИК-съемок трансформатора не позволили обеспечить полной и наглядной визуальной идентичности двух изображений. На рис. 9б в его левой верхней части показана зеленая горизонтальная линия. Статистика температур этого профиля показана в нижней средней части рисунка. В правой нижней части рис. 9б показан график кривой изменения температуры вдоль указанного профиля. Максимальная температура составила более чем 102°C . Это говорит о возможности замыкания магнитопровода трансформатора и, как худший вариант, о так называемом возможном «пожаре металла», который, в конечном итоге, может привести к выходу из строя трансформатора.

Обобщение результатов тепловизионных обследований оборудования ТП представлены в табл. 2 и на соответствующих диаграммах. Тепловизионная диагностика позволила выявить 11 единиц электрооборудования ТП, что составило около 18% от всего числа обследованных объектов (60 штук).

Анализ диаграммы (см. стр. 40), где обобщение представлено в процентном отношении к общему числу обследованного оборудования ТП показывает, что 82% оборудования из всего обследованного признано нормальным, 10% относится к категории 1, (что соответствует решению 1 в соответствии с изложенной методикой), 6,7% относится к категории 2 и 1,3% оборудования по состоянию их КС оцениваются как аварийные. К числу последних относится ошиновка фазы С щита 220/127 В (рис. 8). Фактическая проверка ее на месте обслуживающим персоналом ТП подтвердила диагноз, (причина была в распрессовке наконечника кабеля).

Анализ диаграммы, где результаты обследования представлены в процентном отношении к общему числу электрооборудования с забракованными КС (их число составляет 11 штук) показывает, что к категории 1 относится 54,51%, к категории 2 – 36,41%, а к категории 3 – всего 0,8% (см. стр. 40).

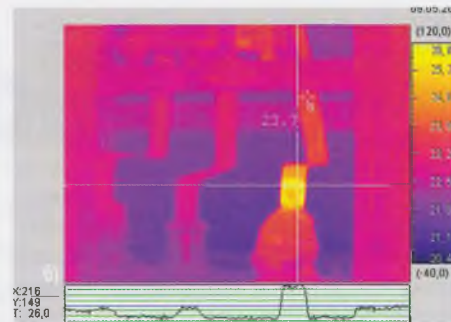


Рис. 3. Ячейка с высоковольтным выключателем (BB1) (фаза С): а – видеоизображение; б – тепловизионное изображение. Диагностические параметры: $(T_c - T_a) = 5^{\circ}\text{C}$; $K_d = 1,62$. Решение по ТО и Р № 1 или 2

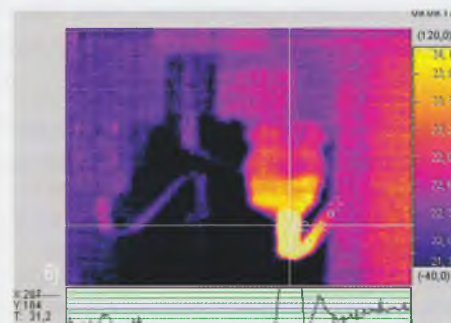


Рис. 4. Кабельный отсек ячейки BB 1 (фаза С): а – видеоизображение; б – ИК – изображение. Диагностические параметры: $(T_c - T_v) = 8,6^{\circ}\text{C}$; $K_d = 5,0$. Решение по ТО и Р № 1 или 2

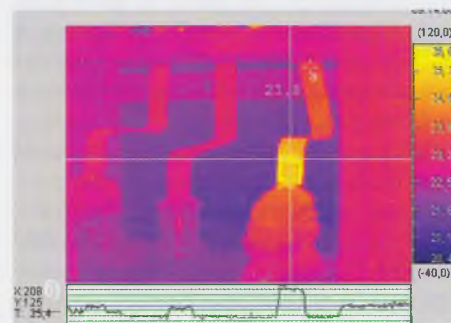


Рис. 5. Ячейка с ВВ, фаза С: а – видеоизображение; б – тепловизионное изображение. Диагностические параметры: $(T_c - T_v) = 3,2^{\circ}\text{C}$; $K_d = 1,41$. Решение по ТО и Р № 1 или 2

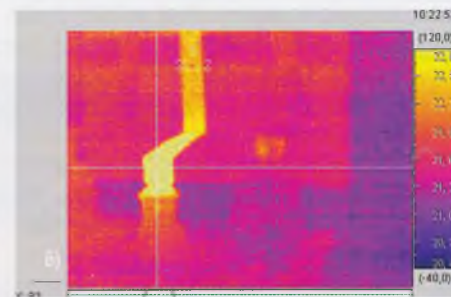


Рис. 6. Проходной изолятор в ячейке ВВ (фаза В): а – видеоизображение; б – ИК – изображение. Диагностические параметры: $(T_v - T_b) = 5,2^{\circ}\text{C}$; $K_d = 3,1$. Решение по ТО и Р № 1 или 2

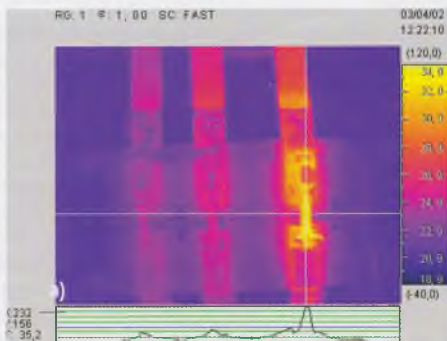


Рис. 7. Рубильник ввода 1-й секции щита 220/127 В. Диагностические параметры: $(T_c - T_a) = 10,5^{\circ}\text{C}$; K_d не определялся. Решение по ТО и Р № 2



Рис. 8. Ошиновка фазы С щита 220/127 В. Диагностические параметры: $(T_a - T_v)$ – не определялась; $K_d = 2,3$. Решение по ТО и Р № 3

Основные направления и перспективы тепловизионных обследований оборудования метрополитена

Оценка состояния энергетических объектов метрополитена и ТП, в частности, по их ИК-излучению носит достаточно универсальный и объективный характер, в связи с термоэлектрическим подобием физических процессов и тесной взаимосвязью качества функционирования и технического состояния электрооборудования с сопутствующими тепловыделениями (потерями). Об этом свидетельствуют и приведенные выше величины тепловых и электрических пробоев диэлектриков.

Самый предварительный анализ показывает, что дефекты высоковольтных кабелей и соединительных муфт, связанные с утечкой трансформаторного масла даже под защитными кожухами, возможно выявить с помощью представленной тепловизионной системы диагностирования. Однако для этого необходимо провести специальные ИК-обследования, выполнить оценочные теплоэлектрические и конструкторские расчеты для конкретного оборудования. Возможность успешного решения этой задачи подтверждает ожидаемый перепад температур на поверхности кабелей в районе дефекта в 3-4° С.

Возможность проведения тепловизионных обследований в динамике позволяет решать еще целый комплекс диагностических задач для метрополитена. ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» успешно применяет быстродействующие компьютеризированные тепловизионные системы на базе вагонов-лабораторий (ВИКС) для оценки качества арматуры контактной сети электрифицированных железных дорог по перегреву КС. В 2002 г. уже модернизированы 5 ВИКСов в части установки на них ИК-систем. В 2003 г. планируется модернизация еще 5 ВИКСов. Их работоспособность обеспечивается на скоростях ЭПС до 100 км/ч при достоверности диагноза не хуже 0,8. Проводя аналогию по использованию ИК-системы в динамике на мобильном носителе – вагоне-лаборатории метрополитена, можно перечислить следующие, возможные на наш взгляд, направления использования тепловизионной системы на метрополитене:

- оценка состояния электросоединителей на температурных стыках контактного рельса (КР);
- определение состояния изоляторов на кронштейнах КР;
- оценка состояния кабелей отсоса и других силовых кабелей, дроссельных трансформаторов и другого электрооборудования, расположенных в тоннеле метрополитена.

Здесь необходимо отметить, что решение первых двух задач предусматривает использование инфракрасных зеркал, опыт применения которых в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» имеется.

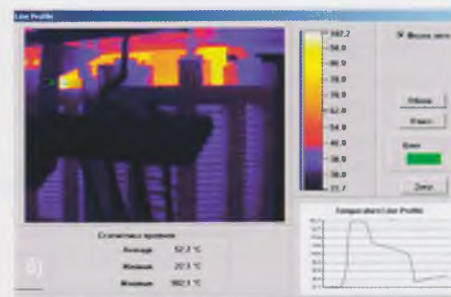


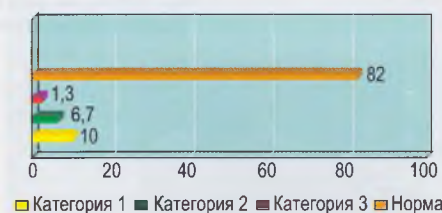
Рис. 9. Трансформатор освещения ТП ТО 1 (6 кВ/220/127 В): а – видеоизображение; б – тепловизионное изображение и результаты его компьютерной обработки

Таблица 2
Суммарная таблица выявленных дефектов КС по перегреву

МЕСТО ДЕФЕКТА	Δt	Kd	Вид технического состояния КС
1. Ячейка с высоковольтным выкл. (фаза С)	5,0	1,62	I-II
2. Кабельный отсек (фаза С)	8,6	5,0	II
3. Ячейка с ВВ, фаза С	3,2	1,41	I-II
4. Проходной изолятор в ячейке ВВ (фаза В)	5,2	3,1	I-II
5. Кабельный отсек ячейки ВВ (фаза С)	3,1	2,1	I-II
6. Рубильник ввода 1-й секции щита 220/127 В	10,5	—	II
7. Ошиновка щита 220/127 В (наконечник кабеля)	5,1	2,7	I
8. Фидера щита 220/127 В	15,1	1,7	II
9. Рубильник ввода 2-й секции щита 220/127 В	8,3	—	I
10. Ошиновка фазы С щита 220/127 В	—	2,3	III
11. Трансформатор освещения ТО 1,6 кВ/220/127 В (нарушение изоляции стягивающей шпильки)	—	—	Tmax=102 C, II
ИТОГО:			11 единиц – 18% от всего количества обследованного оборудования – (60 единиц)

Примечание. Разность температур аналогичных КС на различных фазах не пересчитана на 0,51ном, поэтому этот диагностический параметр имеет заниженное значение. В отдельных случаях замеры токов по техническим причинам не проводились. Этим, в основном, объясняется неоднозначность в оценке вида технического состояния соответствующих КС ТП.

Диаграммы распределения дефектных КС электрооборудования ТП ст. "Площадь Ленина"



а) в процентном отношении ко всему числу обследованного оборудования



в) в процентном отношении к общему числу забракованных КС

ВЫВОДЫ

Подводя краткие итоги предварительного анализа пробных тепловизионных обследований ТП метрополитена Санкт-Петербурга на примере ТП станции метро «Площадь Ленина» и учитывая перспективы использования тепловизионной системы в динамике на мобильном вагоне-лаборатории, целесообразно отметить следующее.

1. Тепловизионному методу по своей производительности, бесконтактности, наглядности результата, степени автоматизации и достоверности для диагностирования разнородного и протяженного электрооборудования, практически нет альтернативы. Самые первые обследования показали, что группой из двух человек, оснащенной соответствующей мобильной ИК-системой, возможно практически за 10 ч (с учетом подготовки оборудования) обследовать основное оборудование одной ТП (табл. 1). Выявленные тепловизионной системой дефекты КС практически полностью подтверждены обслуживающим персоналом ТП ст. «Площадь Ленина», что подтверждает ее работоспособность и достоверность.

2. Внедрение предлагаемой системы в практику ТО и Р оборудования метрополитена, которые на сегодняшний день проводятся по календарному графику, позволит перейти к ТО и Р электрооборудования по их фактическому состоянию. Для этого необходимо в самые ближайшие сроки ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» совместно со службой электроснабжения Петербургского метрополитена разработать Программу тепловизионных обследований электрооборудования наряду с обновлением парка ТП.

3. Внедрение принципов диагностики в практику эксплуатации оборудования метрополитена будет способствовать обеспечению надежности, ресурсо- и энергосбережению, дальнейшему поддержанию и повышению технико-экономической эффективности работы Петербургского метрополитена с учетом значительной выработки его технического ресурса и при одновременном увеличении массовости пассажиропотоков и интенсивности движения ЭПС.

«РАЗМЫВ». ЧТО БЫЛО

Н. И. Кулагин, К. П. Безродный,
М. Л. Покрывалов,
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Чрезвычайная ситуация, вызвавшая прекращение движения поездов с последующим затоплением перегонных тоннелей в декабре 1995 г., произошла на Кировско-Выборгской линии метрополитена Санкт-Петербурга между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества». В результате аварии эксплуатация этой линии ведётся двумя отдельными участками: с юга - от ст. «Проспект Ветеранов» до ст. «Площадь Ленина» (с депо «Автово») и с севера - от «Деятельности» до «Академической» (с депо «Северное»).

Институтом «Ленметропроект» в 1968-1969 гг. было разработано 3 варианта трассы (рис. 1):

- глубокое заложение с проходом тоннелей через «Размыв» между станциями «Лесная» - «Площадь Мужества»;
- мелкое - с прохождением трассы по городской территории;
- глубокое - с проходкой тоннелей под «Размывом» с использованием лифтовых подъёмников или двухмаршевых эскалаторов.

Рассмотрение вариантов на многих технических советах показало, что вариант мелкого заложения при прокладке тоннелей по городской территории потребовал бы сноса многих домов и перекладки инженерных сетей. Сооружение тоннелей под «Размывом» не представлялось возможным из-за фиксированного положения станций «Лесная» и «Площадь Мужества» и необходимости устройства двухмаршевых эскалаторов и промежуточных подземных вестибюлей.

Кроме того, трасса тоннелей прокладывалась бы по грунтам Гдовского горизонта, в песчанниках которого содержатся напорные воды под большим давлением.

Несмотря на то, что вариант прохода трассы через «Размыв» лишён вышеуказанных недостатков, сооружение тоннелей представляло сложную инженерную задачу, не имеющую аналогов в мировой практике.

Было принято решение о проходке тоннелей по варианту № 1 - с проходом через «Размыв». **Решение утверждено комиссией Министерства транспортного строительства СССР и МПС.**

В дальнейшем проектное задание было рассмотрено Главгосэкспертизой Госстроя СССР и утверждено Распоряжением Совета Министров СССР от 3.07.1970 № 1334-р.

Этой публикацией мы начинаем серию статей об участке так называемого «Размыва» Санкт-Петербургского метрополитена между станциями «Площадь Мужества» и «Лесная». Первая статья посвящена событиям, связанным со строительством и аварией по затоплению тоннелей в 1995 г., в последующих - будут описаны процессы, происходящие при эксплуатации тоннелей, приведшие к аварийной ситуации, и причины, её вызвавшие, а также результаты геотехнического мониторинга при строительстве первого тоннеля на новой трассе восстановления движения между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества».

Строительство начато в 1971 г.

Пересечение тоннелями участка понижения кровли плотных протерозойских глин - «Размыва» (представляющего собой как бы каньон - древнее русло р. Невы) выполнялось на уклонах преимущественно 40‰ двумя тоннелями - один над другим (рис. 1, 2).

Решение о расположении тоннелей в одной плоскости (один над другим) было принято в процессе строительства с целью экономии при создании замороженного массива.

Конструкция перегонных тоннелей в зоне «Размыва», проходящих в предварительно замороженных грунтах, представляла собой наружную чугунную обделку и внут-

реннюю железобетонную оболочку с заанкеренным в неё металлическим листом (рис. 3).

По принятому варианту перегонные тоннели пересекали зону «Размыва», состоящую из пылеватых и мелких песков, сильно обводнённых, перекрытых слабой толщей суглинков лужской и московской морены. По трассе тоннелей в зоне «Размыва» гидростатическое давление составляло 7-8 атм.

8 апреля 1974 г. при проходке нижнего тоннеля были вскрыты незамороженные зоны, в результате чего произошёл аварийный прорыв пльвуна в объёме 44 тыс. м³ в готовую часть нижнего тоннеля, а затем - верхнего.

Рис. 1. Варианты трассы



Для ликвидации последствий аварии была выполнена замороженная грунтовая перемычка с применением 7900 т жидкого азота. Во время очистки тоннелей при продолжении работ 20 октября 1975 г. было вскрыто место прорыва длиной 6,9 м. Осадки колец составляли в шельге свода 33–37 см.

Участок метрополитена был введен в эксплуатацию 31.12.1975 г. и с этого времени эксплуатировался службами Санкт-Петербургского метрополитена. По мере оттаивания породного массива в течение нескольких лет Ленметростроем проведены работы по ликвидации появившихся течей.

Перед сдачей линии в эксплуатацию в 1975 г. ЛИИЖТом было выполнено определение несущей способности конструкции перегонных тоннелей, пересекающих зону «Размыва». Испытание конструкций на стенде в лаборатории Тоннелей ЛИИЖТа показало, что конструкция обладает **пятнадцатикратным** запасом прочности.

Для наблюдения за их состоянием и получения данных о напряжениях и деформациях в период эксплуатации была создана комиссия из главных инженеров всех организаций, участвующих в строительстве и эксплуатации метрополитена города, которая регулярно собиралась и докладывала Техническому совету Ленметрополитена о состоянии тоннелей, начиная с 1976 г.

Специально пробуренные во II квартале 1982 г. по заданию заказчика гидронаблюдательные скважины в количестве 7 шт., в том числе 4 - в непосредственной близости от места прорыва, показали, что ледопородный массив полностью разморожен, и только над шельгой свода верхнего тоннеля, на высоте 6–10 м и выше, обнаружена вялая мерзлота с температурой 0–1° С.

В 1983 г. было снято ограничение скорости движения поездов на этом участке. С тех пор тоннели, пересекающие «Размыв», эксплуатировались в нормальном режиме в течение 12 лет. За весь период эксплуатации осуществлялся выпуск воды из-под металлоизоляции через патрубки.

В процессе эксплуатации тоннелей, пересекающих зону «Размыва», был привлечен ряд научно-исследовательских институтов для обследования обделки, металлоизоляции, наблюдения за осадками тоннелей, поступлением грунтовых вод через обделку и ее деформациями. В частности, согласно заключению кафедры «Тоннели и метрополитены» ЛИИЖТа в 1991 г. по выполненной работе «Разработка рекомендаций по эксплуатации тоннелей в зоне «Размыва» Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена» отмечается, что «конструкция в целом находится в



Рис. 2. Продольный разрез варианта № 1

удовлетворительном состоянии, имеет достаточную несущую способность и обеспечивает в настоящий момент надежную эксплуатацию».

С декабря 1994 г. начал увеличиваться приток воды внутрь тоннелей, сначала чистой, а затем с выносом песка из лотковой части тоннеля.

Начиная с февраля 1995 г. приток воды резко увеличился с выносом песка. По нижнему тоннелю на участке от ПК 182+85 до ПК 182+97 из-под шпал происходил вынос песка с водой, на ПК 183+03 на уровне смежного тубинга произошёл разрыв сварного шва металлоизоляции, выпучивание её с нарушением габарита приближения оборудования с поступлением воды 360 м³/сутки.

С марта 1995 г. инструментальные наблюдения за просадками тоннелей по верхнему и нижнему тоннелям проводились ежемесячно, с июля того же года – раз в две недели, с конца сентября – один раз в неделю, а с конца ноября – ежедневно.

В результате проведённых исследований в нижнем тоннеле был предложен комплекс рекомендаций по восстановлению эксплуатационной пригодности и обеспечению его пространственной стабильности, в том числе усиление лотка обделки в секторе 120° дополнительным стальным листом толщиной от 8 до 20 мм с установкой анкеров для дополнительного закрепления металлоизоляции, нагнетание растворов за металлоизоляцию с целью подавления притока грунтовых вод в тоннель.

Наряду с этим, с июля 1995 г. начали вести наблюдения за осадками дневной поверхности с периодичностью один раз в две

недели, с ноября – раз в неделю, с декабря – ежедневно, с 09.12.1995 г. – два раза в сутки, а с 12.12.1995 г. – три раза в сутки.

После обследования нижнего тоннеля, в котором были зафиксированы постепенно возрастающие притоки грунтовых вод и поступление мелких и тонких пылеватых песков («пльвуна»), для производства работ по «лечению» был выбран участок длиной 70 м нижнего тоннеля, где отмечено наибольшее поступление воды с песком и зафиксированы максимальные деформации – просадки.

В верхнем тоннеле, имеющем на этих же пикетах большие деформации, чем в нижнем, не было проникновения ни воды, ни песка. Его ремонт, в связи с недостатком средств, предполагалось начать позже.

Работы выполнялись сначала в ночные часы, когда отсутствует движение поездов, с сентября 1995 г. – в выходные дни с прекращением движения, а затем с 4.12.1995 г. при полностью закрытом перегоне, т. е. времени для установки анкеров в ночные часы и даже в выходные дни не хватало. По верхнему тоннелю движение рабочих поездов не прекращалось.

По заказу Дирекции строящегося метрополитена Ленметрогипротрансом были разработаны проектные предложения и рабочая документация на усиление обделки верхнего и нижнего тоннелей, по которым начаты ремонтно-восстановительные работы в ночные «окна». Главгосэкспертизой России с участием Тоннельной ассоциации 2–3 ноября 1995 г. с выездом на место принятые решения были признаны как наиболее рациональные.

В состав аварийно-восстановительных процессов входили: освобождение ре-

мантируемого тоннеля от рельсов (в т. ч. контактного) и шпал, вырубка бетона, обнаружение и заварка повреждённых сварных швов в металлоизоляции, установка в пробуренные шпуров анкеров, их обварка, инъекция в бетон растворов для водоподавления, усиление металлоизоляции наваркой новых листов, засыпка шпальных ящиков щебнем, восстановление путей, контроль состояния тоннелей, расчистка зоны работ от вырубленного путевого бетона и поступающей в тоннель воды с песком, отвозка щебня и песка мотовозами на платформах за пределы тоннелей в депо и др.

Проведению работ по усилению конструкции тоннелей и водоподавлению серьёзно препятствовало недостаточное финансирование, хотя принципиальное согласие и поручение Правительству Российской Федерации было дано 14 сентября 1995 г. Президентом России Б. Н. Ельциным, а также Премьер-министром В. С. Черномырдиным – поручение Минэкономки, Минфину и Минстрою РФ.

Начиная с 16 ноября 1995 г., в связи с резким ростом просадок верхнего тоннеля, в его конструкции наблюдались нарушения металлоизоляции с увеличивающимся поступлением воды и песка. К 9 декабря приток воды достиг 700 м^3 в сутки, поступления песка – 30 м^3 в сутки.

9 декабря 1995 г., в связи с резким увеличением притока воды и песка в верхний тоннель, возникла реальная опасность не успеть закрыть затвор со стороны ст. «Лесная», что повлекло бы за собой затопление метрополитена. В связи с опасностью обстановки после обсуждения ситуации с председателем КЧС и заместителем мэра, в 21⁰⁰ 9 декабря было принято решение о закрытии затвора. В дальнейшем производилась обварка швов по металлу, гильз для прокладки кабелей со стороны ст. «Лесная».

Работы по «лечению» верхнего тоннеля прекратились, а в 24⁰⁰ этого же дня началось постепенное принудительное затопление тоннеля водой из тоннельного водопровода.

10 декабря на заседании КЧС с участием руководителей служб городского хозяйства было принято решение об ускоренном затоплении верхнего тоннеля водой от городского водопровода, начиная с 16⁰⁰, с целью уменьшения проникновения воды и грунта в тоннель из-за обделки и снижения просадок поверхности.

По мере заполнения тоннеля водой до последнего момента велся визуальный осмотр его конструкции и геодезические замеры просадок. В связи с начавшимися протечками воды через затвор со стороны ст. «Лесная» с 12⁰⁰ 11 декабря было начато бетонирование дополнительной (усиливающей затвор) бетонной перемычки тол-

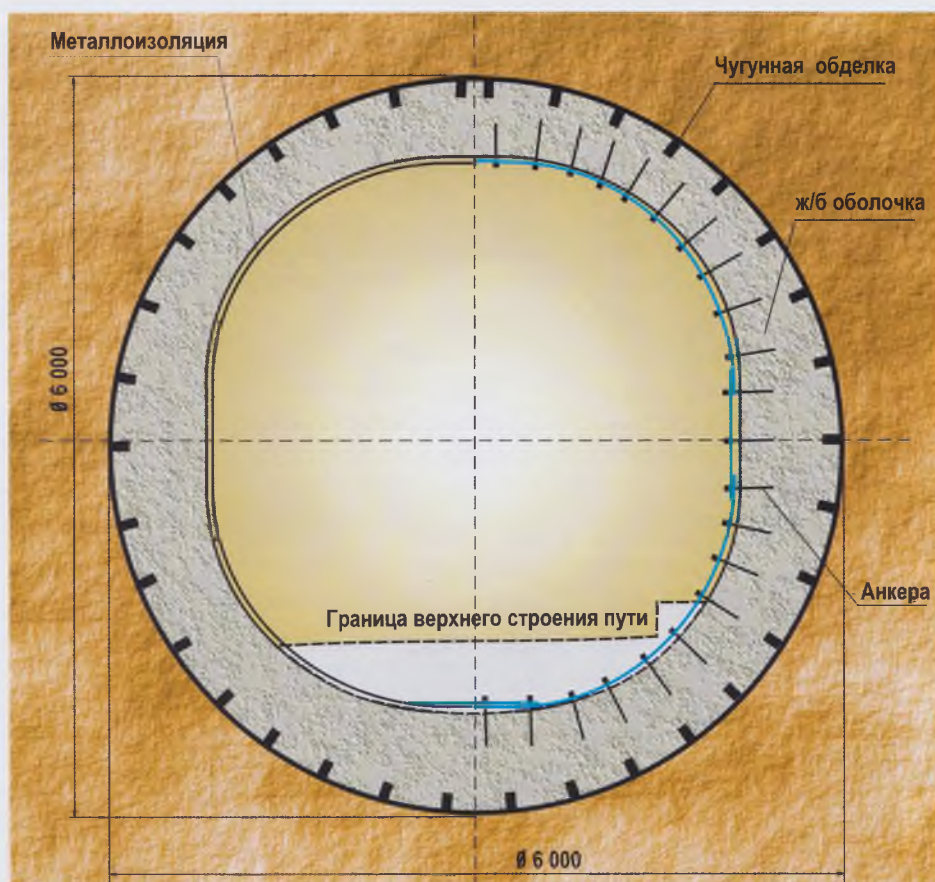


Рис. 3. Конструкция обделки

щиной 6 м.

Заливка верхнего тоннеля водой из водопровода с поверхности в 9³⁵ 11 декабря 1995 г. была прекращена, а в 16⁰⁰, в связи с поднятием зеркала воды к порогу верхнего затвора (со стороны ст. «Площадь Мужества»), он был закрыт с выполнением работ по обварке швов и последующим за этим бетонированием дополнительной бетонной защитной перемычки.

Был установлен контроль над поднятием давления воды за затвором с помощью манометра, установленного на одной из труб.

Во время затопления верхнего тоннеля, в нижнем — ещё велись работы по усилению герметичности затворов, бетонированию порогов, а также продолжалось «лечение» течей и усиление внутренней металлоизоляции. Постоянный геодезический контроль над просадками нижнего тоннеля выявил, после проведения успешных работ по водоподавлению, практически полное прекращение просадок опасного участка. После затопления верхнего тоннеля рост просадок нижнего резко возрос, и, когда был отмечен их «обвальный» характер (до $5 \div 8 \text{ мм}$ за половину суток на длине 28 м), в связи с опасностью резкого разрыва конструкции и мгновенного затопления, было принято решение о закрытии затворов и затоплении нижнего тоннеля сначала грунтовой водой, а с 4³⁰ 17 декабря — из городского водопровода.

У всех затворов бетонировали дополнительные бетонные перемычки. Для восста-

новления движения поездов между ст. «Академическая» и «Площадь Мужества» с 6 декабря производили обустройство камер съезда у ст. «Площадь Мужества».

В результате принятых мер по затоплению тоннелей на участке «Размыв», отсечению их от эксплуатируемых участков Кировско-Выборгской линии метрополитена затворами и защитными перемычками, ликвидации протечек воды через неплотности в бетоне и металлоконструкциях по состоянию на 21 декабря 1995 г. наступила стабилизация обстановки, просадка поверхности или была близка к стабилизации. Мульда осадок поверхности свидетельствовала о том, что осадки достигли максимума по величине 857 мм. Зона деформаций с величиной осадок более 20 мм составила вдоль оси тоннелей в плане 250 м, по ширине поперёк оси тоннелей — примерно 220 м. Общая площадь этой зоны — примерно 45200 м^2 .

Вели обследование зданий и коммуникаций для определения степени их повреждения и необходимого ремонта.

Были закончены работы по камере съезда у ст. «Площадь Мужества» для открытия движения на северном участке линии от ст. «Девяткино» до ст. «Площадь Мужества» 25 декабря 1995 г. В марте выполнили обустройство камер съезда за ст. «Лесная» и открыли движение от ст. «Площадь Ленина» до «Лесной».

(продолжение в следующем номере журнала)

Вниманию специалистов по тоннелестроению

Справочное издание

Издание содержит информацию о современных типах тоннелепроходческих комплексов, выпускаемых различными фирмами-производителями в мире, их технических характеристиках и объектах, на которых они применялись. В брошюре даны рекомендации по выбору типа тоннельной щитовой машины для конкретных инженерно-геологических условий строящегося тоннеля.

Издание предназначено для специалистов, занимающихся строительством и проектированием тоннелей различного назначения, конструкторов тоннелепроходческого оборудования, а также студентов-тоннельщиков.

Цена - 300 рублей
+ почтовые расходы

По вопросам приобретения обращаться:

тел.: +7 095 929-6482, 929-6673, 929-6574, факс: 929-6548
e-mail: tunnels@metrostroy.ru

СОВРЕМЕННЫЕ

щитовые машины
с активным пригрузом забоя
для проходки тоннелей в сложных
инженерно-геологических условиях

А. Г. Валиев
С. Н. Власов
В. П. Самойлов



Москва 2003

А.А. Шилин, М.В. Зайцев,
И.А. Золотарев, О.Б. Ляпидевская

Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте

Вышла в свет новая книга

под редакцией доктора технических наук, профессора кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт» Московского государственного горного университета (МГГУ),
генерального директора ЗАО «Триада-Холдинг» А. А. Шилина

Настоящая книга является единственным в данной области учебным пособием, в котором вопросы гидроизоляции рассматриваются как комплексная проблема защиты подземных и заглубленных зданий и сооружений.

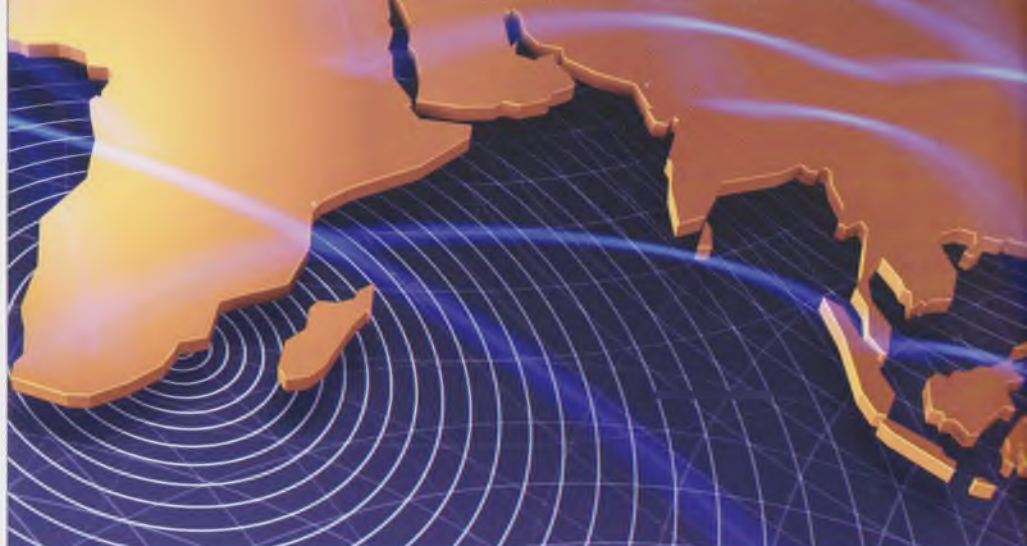
В книге изложены основы проектирования и создания системы гидроизоляционной защиты сооружений при их строительстве и ремонте, приводятся методики расчета различных систем гидроизоляции, систематизированы и описаны новые материалы, технические и технологические решения по выполнению гидроизоляционных работ подземных и заглубленных объектов строительного комплекса. Приведены многочисленные примеры производства работ в различных сооружениях.

Уникальность книги состоит в том, что она основана на многолетних научных исследованиях ведущих сотрудников «Триады-Холдинг» и богатейшем опыте фирмы в области строительства и ремонта огромного числа крупных подземных сооружений различного назначения (более 1000!).

Представленная книга будет интересна и полезна всем специалистам в области проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта зданий и сооружений.

А.А. Шилин, М.В. Зайцев, И.А. Золотарев, О.Б. Ляпидевская
Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: Учебн. пособие.
Цена 350 руб. (с НДС и доставкой)

По вопросам приобретения книги обращайтесь в
ООО «ТА Инжиниринг» по телефонам: (095) 929-64-82; 929-65-74; 929-66-73
факс: (095) 929-65-48
e-mail: tunnels@metrostroy.ru.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ
ФОРУМ

GEOFORM+

ОБЪЕДИНЯЕТ ЧЕТЫРЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ



ГЕОЛОГИЯ
ГЕОДЕЗИЯ
КАРТОГРАФИЯ

10–13 МАРТА
2004

РОССИЯ, МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

GEOmap

GEOtunnel

GEOtech

GEOcontrol

Международная
специализированная
выставка в области
геодезии, картографии,
геоинформационных
систем и систем
управления

Международная
специализированная
выставка технологий и
оборудования для
строительства тоннелей

Международная
специализированная
выставка технологий и
оборудования для
поиска и разведки
полезных ископаемых

Международная
специализированная
выставка оборудования
и инструментов для
анализа окружающей
среды



Организаторы: ЗАО «МВК»

 Федеральная служба
геодезии и картографии России (GEOmap)

 Тоннельная ассоциация России (GEOtunnel)

При поддержке:



Министерство природных ресурсов РФ

 СОКОЛЬНИКИ

Информационные спонсоры:



www.geoexpo.ru

МВК – МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ
Тел./факс: (095) 105-34-86, 268-99-04, e-mail: kna@mvk.ru



Дорога открыта...

Самая современная техника для строительства тоннелей

Мобильность - это ключ к будущему. Строительство тоннелей закрытым способом открывает большие возможности и освобождает дороги от транспортных перегрузок. Фирма «Херренкнехт АГ» располагает для этого самой современной и самой мощной техникой. Наши щиты с гидропригрузом, щиты для работы в скальных породах, модульные проходческие комбайны с открытым забоем, микротоннелепроходческие установки и установки горизонтального направленного бурения обеспечивают нашим клиентам по всему миру настоящий прорыв в будущее в строительной области. Наша техника работает в любых геологических условиях и на всех континентах мира.

Но уникальными в своем роде нас делает не только широкий диапазон нашей продукции и наше ноу-хау в механизированной проходке тоннелей. Как лидеры в этой технологии мы устанавливаем ориентиры, когда речь идет об экономичности, безопасности и защите окружающей среды.

Свет в будущее в конце каждого нового тоннеля !



ТПМК для Лефортовского тоннеля $\varnothing$ 14,2 м



Щит с грунтопригрузом, Мадрид, Испания, $\varnothing$ 9,33 м



ТПМК для скальных пород, Готтард, Швейцария $\varnothing$ 8,83 м



HERRENKNECHT AG
D-77963 SCHWANAU

TEL (+49) 78 24/ 3 02-0
FAX (+49) 78 24/ 34 03

[HTTP://WWW.HERRENKNECHT.DE](http://www.herrenknecht.de)

ЗАО «ХЕРРЕНКНЕХТ ТОННЕЛЬСЕРВИС»

107497, Москва, Россия,
ул. Бирюсинка, д. 4

телефон (+7) 095 462 38 78
факс (+7) 095 462 57 44