

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

Зам. председателя редакционной коллегии

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

Ответственный секретарь

Г. И. Будницкий

Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук
В. Н. Александров
В. П. Антощенко
М. Ю. Беленький
А. Ю. Бочкарев, канд. эконом. наук
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук
С. А. Жуков
А. М. Земельман
Б. А. Картозия, доктор техн. наук
Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук
С. В. Мазеин, доктор техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
М. А. Мутушев, доктор техн. наук
А. А. Пискунов, доктор техн. наук
М. М. Рахимов
М. Т. Укшебаев, доктор техн. наук
Б. И. Федунец, доктор техн. наук
Е. Ф. Чумаков
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Е. В. Цехудов, канд. техн. наук

Тоннельная ассоциация России

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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71
127521, Москва,
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,
оф. 4206
e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2014

№ 5 2014

В Тоннельной ассоциации России

Международная выставка CityExpo 2

Проектные решения

Расширение Московского метро: опыт Мадрида 4

Хесус Трабада

Технологии строительства

Применение набрызг-бетона при строительстве
подземных объектов глубокого заложения в Москве 10

М. С. Панкратов, И. А. Бородин

Оптимизация конструкции железобетонных плит 13

В. В. Чеботаев

Применение стеклопластиковой арматуры
при строительстве объектов метрополитена 14

Е. А. Хотеев

Сравнение опыта применения различных технологий
строительства глубоких стволов в условиях Москвы 16

М. С. Панкратов, С. В. Сомьянов

Метрополитены

О проблемах противопожарной защиты
электроподвижного состава Московского метрополитена 20

В. П. Прохоров

Оценка расхода электроэнергии
на тягу поездов метрополитена и определение
мощности тяговых подстанций 22

А. А. Лянда

Щитовая проходка

Эффективные элементы технологической схемы
скоростной проходки перегонных тоннелей
метрополитена с применением тоннеле-
проходческих механизированных комплексов 26

А. В. Лунев, С. В. Самарский

Безопасность строительства

Влияние подземного строительства
на надежность существующих подземных коммуникаций 28

О. Н. Исаев, Р. Ф. Шарафутдинов

Защита зданий и сооружений в зоне строительства
тоннелей закрытого способа работ 32

В. А. Гарбер

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

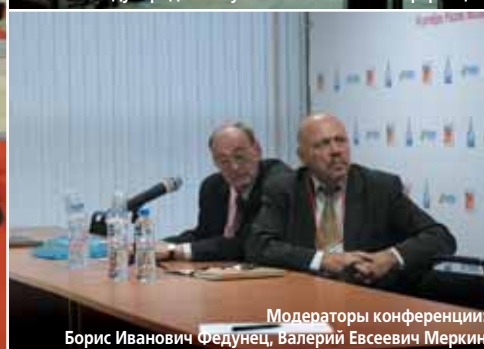
Разработка забоя между
станциями «Фонвизинская»
и «Бутырская» Люблинско-
Дмитровской линии
(с. 10)

фото Александра Попова
(russos.livejournal.com)

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА CityExpo



Международная научно-техническая конференция

Модераторы конференции:
Борис Иванович Федунец, Валерий Евсеевич Меркин

С 14 по 16 октября 2014 г. в Москве на территории ВДНХ (павильон 75) состоялась Международная выставка оборудования и технологий для градостроительства, электроснабжения и городской инфраструктуры CityExpo.

Организаторы выставки – правительство Москвы и Международная компания ITE. Партнерами мероприятия выступили ведущие профильные ассоциации и союзы – Тоннельная ассоциация России (ТАР), Российский Союз строителей и др.

В официальной церемонии открытия выставки приняли участие руководители Департаментов правительства Москвы, а также ведущих предприятий и общественных организаций.

Около 100 компаний представили свои экспозиции из таких стран, как Россия, Германия, Италия, США.

Широко были представлены регионы, в числе которых Московская область, Санкт-Петербург, Саратов, Тула и др. В числе экспонентов выставки – известные международные и отечественные компании: Херренкнехт, Группа компаний «Мост», компания «Зика» и др.

В рамках выставки Тоннельная ассоциация России организовала и провела Международную научно-техническую конференцию «Российский опыт строительства метрополитена в г. Москве. Тенденции. Проблемы. Перспективы».

На конференции были подняты и рассмотрены следующие вопросы:

- проблемы градостроительного планирования подземного пространства;

- состояние и возможные пути повышения эффективности строительства метрополитена в городе Москве;

- инженерно-геологические проблемы строительства Московского метрополитена.

В конференции приняли участие свыше 100 специалистов из 20 организаций. Издан сборник трудов конференции.

15 октября состоялось награждение победителей конкурса «На лучшее применение передовых технологий при освоении подземного пространства», задачей которого является демонстрация новых технологий, оборудования и материалов, применяемых в тоннелестроении и подземном пространстве в целом. Компаниям, ставшим в этом году победителями, награды вручал заместитель председателя правления ТАР Абрамсон Валерий Михайлович.

Победителями стали:

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

- ФГУП «Управление строительства № 30» за разработку новой технологии проходки ствола с применением устройства монтажного (кольца) и агрегата стволопроходческого (комбайна) АСП-8,0;

в номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительство подземных сооружений закрытым способом» и в номинации «Разработки, ведущие к снижению стоимости строительства подземных объектов»:

- ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург за внедрение прогрессивной

технологии при строительстве двухпутного участка Фрунзенско-Приморской линии от станции «Южная» до станции «Проспект Славы» Петербургского метрополитена; в номинации «Работы по стабилизации неустойчивых грунтов, устройству оснований и укреплению фундаментов»:

- Филиал ОАО ЦНИИС НИЦ «Тоннели и метрополитены» за разработку технологии укрепления грунтов методом струйной цементации и компенсационное нагнетание при проходке тоннелей метрополитена под железнодорожным путепроводом;

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

- ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» за работу по сохранению исторических зданий Санкт-Петербурга при строительстве тоннелей метрополитена;

в номинации «Временные и постоянные конструкции для крепления выработок котлованов, различных сооружений»:

- ОАО «Минскметропроект» за разработку концепции тоннельной вентиляции и вентиляции платформы станций «закрытого типа».

За три дня работы выставку «Сити-Экспо» посетило около 2000 специалистов из 15 стран и 20 областных центров России. Гостями выставки стали представители государственных структур и строительного бизнеса не только Москвы и Московской области, но и регионов и ряда зарубежных стран.



ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

В журнале «Метро и тоннели» № 4 за 2014 г. опубликована статья С. Н. Алпатова «Развитие метрополитена открывает перспективы комплексного освоения подземного пространства».

К сожалению, данная статья под многообещающим названием представляет собой набор многократно повторяющихся благих пожеланий, лозунгов, абстрактных рассуждений и пр., тем более что значительная часть «открытий» С. Н. Алпатова уже давно известна и реализуется на практике (например, в ходе освоения подземного пространства г. Москвы).

Из статьи не понятно, что же конкретно предлагает автор, к кому он обращается. Отсутствует анализ реализуемого, в определенном объеме, отечественного опыта освоения подземного пространства (строительство метрополитенов, транспортно-пересадочных узлов, паркингов и т. д.).

Примечательно, что свою статью С. Н. Алпатов одновременно опубликовал еще в некоторых изданиях, под тем же названием и с идентичным текстом.

Особо необходимо отметить, что в статье, посвященной автором проблеме комплексного освоения подземного про-

странства, нет ни слова об одном из важнейших аспектов решения этой проблемы – развитию в нашей стране отрасли горно-строительного, в том числе щитового машиностроения, что приобретает особую актуальность в свете реализации отечественной программы импортозамещения.

Нам представляется, что данная тема была бы более достойна для использования дефицитных площадей столь авторитетного научно-технического издания, как журнал «Метро и тоннели», нежели легковесные сочинения, не несущие в себе ника-

кого конкретного, содержательного потенциала.

Мы, как почетные члены Тоннельной ассоциации России, стоявшие у истоков отечественной науки и практики щитового строительства тоннелей в Советском Союзе, готовы представить конструктивные, реальные предложения по данной проблеме.

В. А. Ходош, к. т. н., лауреат Государственной премии СССР, почетный строитель России

В. П. Самойлов, к. т. н., лауреат Государственной премии СССР, заслуженный строитель РСФСР



РАСШИРЕНИЕ МОСКОВСКОГО МЕТРО: ОПЫТ МАДРИДА

Хесус Трабада, генеральный директор компании «Bustren PM S.A»

Для устранения отставания развития сети столичного метрополитена от потребностей города, улучшения качества предоставляемых услуг и увеличения безопасности работы метро правительство Москвы 4 мая 2012 г. согласно Генеральному плану развития города установило список объектов строительства Московского метрополитена на 2012–2020 гг.

Часть из проектов расширения метрополитена была доверена компании «Bustren PM».

Компания «Bustren PM» состоит из специалистов, которые в период с 1995 по 2007 г. руководили строительством и проектированием метрополитена г. Мадрида. За это время было выполнено невиданное ранее расширение метрополитена на 200 км и открыты 156 новых станций. Полученный опыт явился решающим моментом для выбора компании «Bustren PM», как субподрядчика организации «Мосинжпроект», для выполнения проектов участков метрополитена г. Москвы.

Опыт специалистов компании «Bustren PM» включает в себя планирование, разработку предпроекта, проекта, организацию торгов и определение победителя, руководство строительными работами и их контроль, ввод в эксплуатацию, приобретение подвижных составов и начальное сопровождение служб.

Расширение метрополитена г. Мадрида

Расширение метрополитена, управляемое специалистами компании «Bustren PM», базировалось на следующих принципах.

Безопасность: любое строительство и тем более подземное в черте города должно соблюдать условия максимальной безопасности, которая обязана учитываться во всех сферах строительного процесса:

- охрана труда работников, учитывая скрупулёзно существующее законодательство;
- охрана окружающей среды, используя наиболее подходящие методы строительства;
- соблюдение безопасности эксплуатационных процессов, внедряя наиболее современные технологии и учитывая предложения эксплуатационных компаний.

Функциональность: новые линии метрополитена должны быть запроектированы, максимально уменьшая перемещения пассажиров, создания условий ясного понимания направлений движения при пересадках, при входе и выходе из метро.

Сроки строительства: дирекция строительства должна следить, чтобы инвестиции использовались максимально эффективно. Это означает, что строительный объект вводится в эксплуатацию за минимальный срок.



План расширения сети Мадридского метрополитена

Для достижения этой цели очень важно выбрать надлежащую технологию строительства.

Экономия затрат: использование трёх предыдущих принципов и эффективного управления строительством позволяет оптимизировать затраты строительства и эксплуатации систем.

Основные черты расширения метрополитена г. Мадрида

Масштаб работ по расширению метрополитена г. Мадрида являлся своего рода вызовом и одновременно удобным шансом модернизировать сеть метрополитена, используя наиболее подходящие для данных условий методы, технику и системы.

Обозначим некоторые наиболее важные аспекты, которые характеризуют расширение метро г. Мадрида.

Тоннель

Наибольшая часть новых 200 км тоннелей сети метро были выполнены тоннелепроходческими комплексами типа EPB внешним диаметром 9,43 м. Выбор двухпутного тоннеля осуществлен не только из-за исторических условий, но и из-за следующих преимуществ:

- **функциональные:** двухпутный тоннель дает возможность более легкого монтажа стрелочных переводов (диагоналей, обычных и перекрестных съездов) без дополнительных затрат. Позволяет без проблем



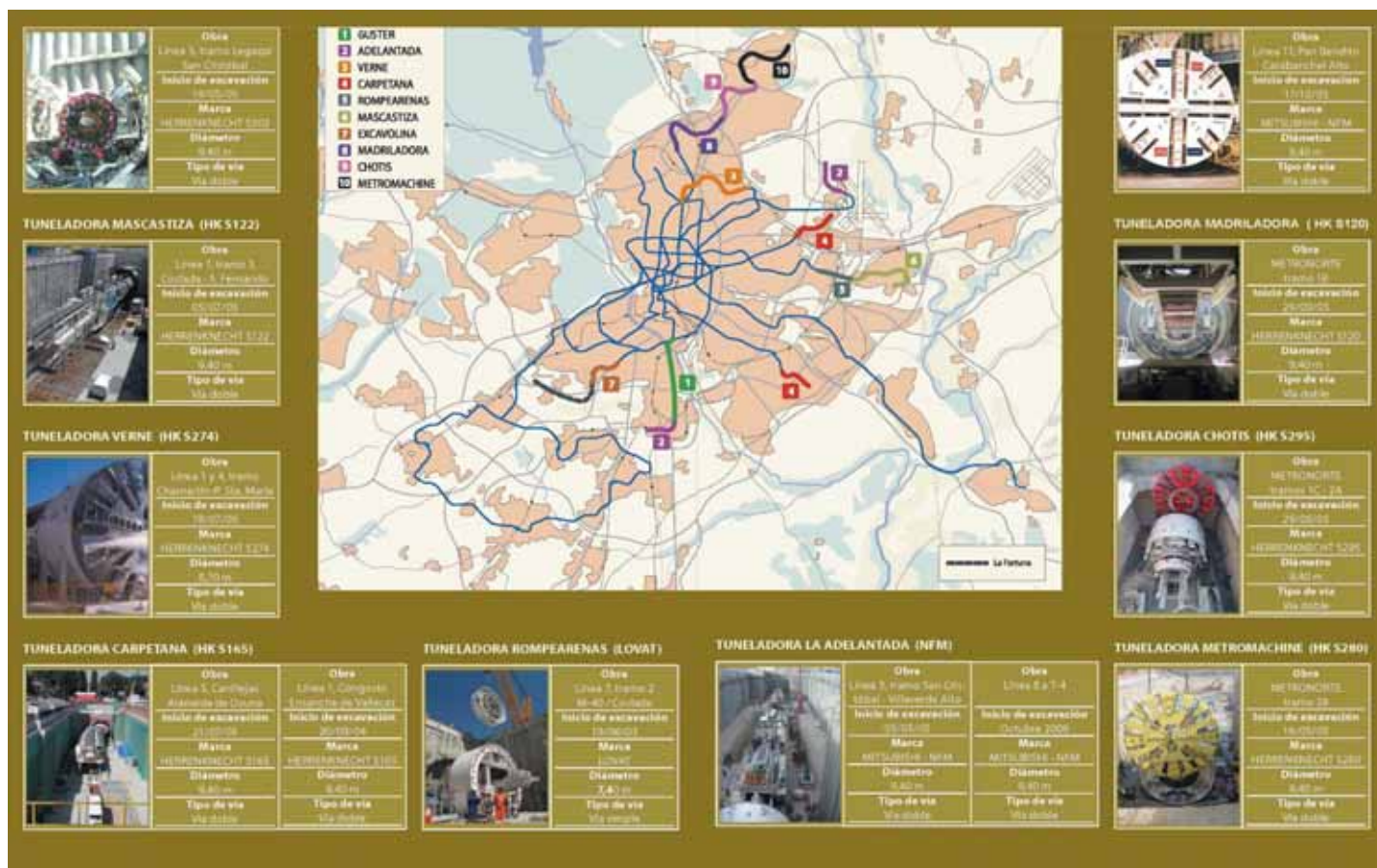
Выполнение «стен в грунте»

модифицировать эксплуатационные схемы линии, исходя из требований каждого момента;

- **эвакуация:** двухпутный тоннель способствует более быстрой эвакуации на пути через боковые двери и проходу пассажиров по пути к выходу, и таким образом способствует оперативному вывозу подвижного состава, попавшего в аварию;

- **конструктивные:** уменьшаются сроки строительства и количество высококвалифицированных бригад, необходимых для прокладки тоннеля;

- **экономические:** уменьшаются затраты на строительство. Анализ затрат, выполненный компанией «Bustren PM», показал экономию в 12 % по сравнению с двумя однопутными тоннелями. Эти значения могут варьироваться в зависимости от диаметров тоннелей.



Места выполнения тоннелей различными ТПМК

Станции

В основном все станции были построены с боковыми платформами, как следствие проектирования двухпутного тоннеля. При строительстве использовался метод up&down.

Очертания станций в основном обусловлены строительными методами, длиной подвижного состава, оценкой будущего пассажиропотока и пересадочных элементов, характеристиками грунта и конструктивными формами.

Сеть Мадридского метро в основном строилась в слабых грунтах, песках и глинах с различной обводненностью. Используемые строительные методы базировались на креплении грунта с помощью железобетонных «стен в грунте», которые впоследствии становились несущими стенами. Плиты покрытия и перекрытия, неся свою функциональную необходимость, работают как распорки в стадии выработки грунта из станции, ограничивая усилия и деформации.

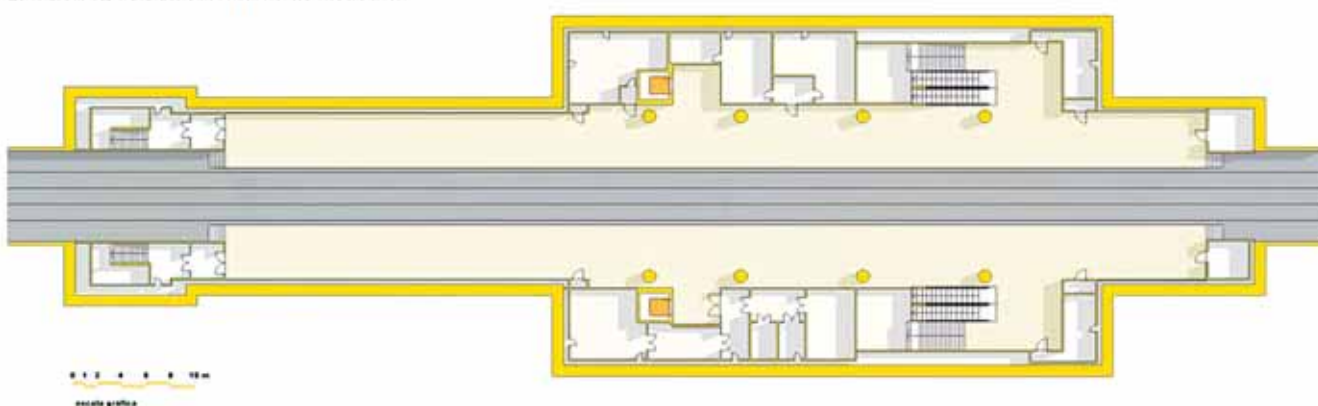
Лоток станции имеет полукруглую форму, чтобы позволить протянуть тоннельпроходческий комплекс (ТПМК) через станцию без его демонтажа и нового монтажа при подходе к станции.

Проход ТПМК через станцию также обуславливается высотой перекрытия, которое бетонируется после выработки грунта до нижней отметки перекрытия. Таким образом предотвращается монтаж подмостей для её бетонирования. Отметка

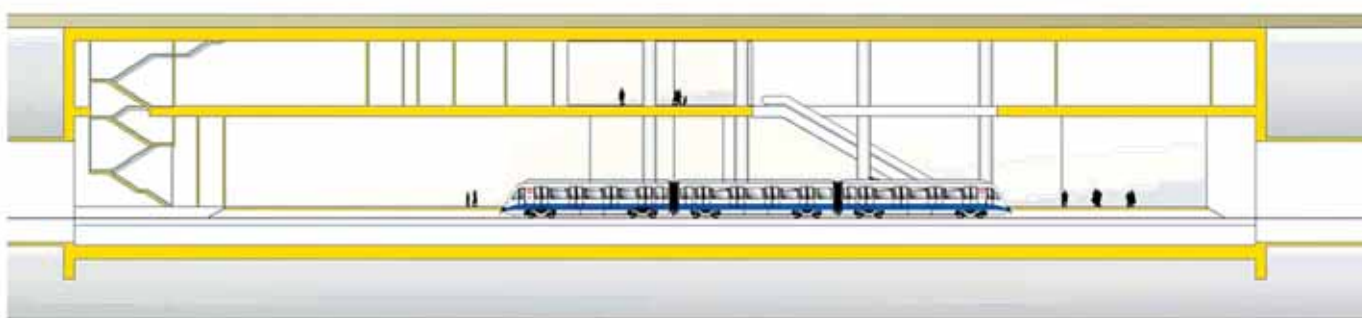
Внешний вид двухпутного тоннеля



Estación 12 de Octubre. Planta de vestíbulo



Estación 12 de Octubre. Planta de andén



Типовая станция Мадридского метрополитена



Станция метрополитена на одной из стадий ее сооружения



Вид ТПМК, проходящего через станцию

низа плиты должна позволить свободное перемещение ТПМК.

Тип подвижного состава определяет ширину и длину станции. Пассажиропоток оп-

ределяет ширину платформы, соблюдая минимальную ширину равную 4–4,5 м для платформ и пересадочных коридоров. Окончательно размеры этажа также зависят

от необходимого уширения для расположения лестниц и эскалаторов.

Два ряда колонн-свай вместе с периметральными «стенами в грунте» передают нагрузку от перекрытий на грунт.

Конструкция верхнего токосъема



Технологическое оборудование

Наиболее важные системы и технологии, которые были внедрены в сети метрополитена г. Мадрида:

- подача электроэнергии через жесткий верхний токосъём, который является наиболее современной системой подачи электроэнергии в железнодорожном транспорте и альтернативой обычному токосъёму. Состоит из алюминиевого профиля, в определенной зоне которого расположен медный контактный кабель. Эта конструкция имеет высокую механи-

ческую жесткость, большое сечение для прохода электотока. Такой вид токо-сёма позволяет использование большего рабочего напряжения 1500 вольт и более и имеет меньшие затраты на его обслуживание;

- передовая сигнализация: система сигнализации, используемая в сети Мадридского метрополитена, основана на микропроцессорах с ATP (Automatic Tren Protection) и ATO (Automatic Tren Operation) и на линиях с высоким пассажиропотоком установлена система CBTC (Communication Based Train Control). Задача всех этих систем улучшить безопасность движения, увеличить надежность и уменьшить интервалы движения поездов;

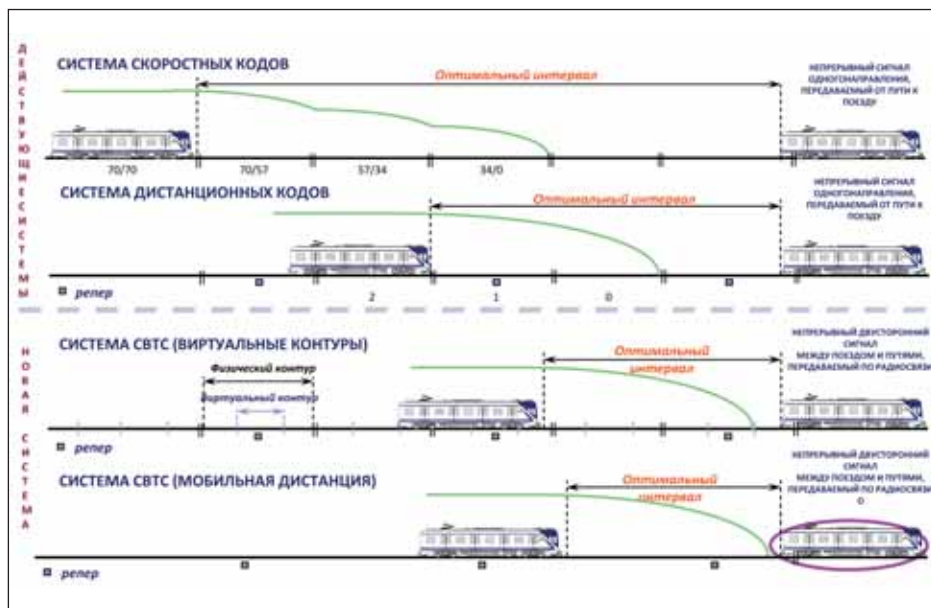
- система связи TETRA: система цифрового радио, используемая как основная сеть связи поезд-земля и как система связи безопасности на линии. Также в сети связи поезд-земля используется узкополосная связь (передача тревоги, данные состояния оборудования и т. д.). Действие сигнала системы TETRA распространяется на всю сеть метрополитена г. Мадрида, включая тоннели, станции, депо и диспетчерские;

- мелкодисперсная вода для тушения пожаров: в зонах и помещениях с большой существующей вероятностью возникновения пожаров, как, например, прямки эскалаторов, устанавливаются системы модульного типа для тушения пожара с помощью мелкодисперсной воды. Эта система состоит из группы баллонов с водой под давлением и серии трубок с накопниками-спрей. Необходимая вода при тушении пожара распределяется автоматически.

Расширение Московского метрополитена

Компания «Bustren PM» в настоящее время занимается выполнением проектов в стадии «П» Кожуховской линии для заказчика «Мосинжпроект», включая разработку объёмно-планировочных решений и технологических систем. Недавно нами был выигран конкурс на проектирование еще трех участков: «Восточный», «Западный» и «Северо-Восточный» третьего пересадочного кольца Московского метрополитена.

При проектировании участков метрополитена используются как образец наработки, полученные при строительстве Мадридского метрополитена и адаптированные к условиям Московского. В настоящее время сеть метрополитена г. Москвы составляет 300 км и 185 станций, которые обслуживают 9 млн пассажиров в день. Понятно, почему эта инфраструктура имеет стратегическое значение для транспортной сети города. В то же самое время Московский метрополитен является гордостью русского народа, а его великолепная архитектура и эффективность работы заслуживают восхищения и могут быть примером для других метрополитенов.



Различные системы сигнализации

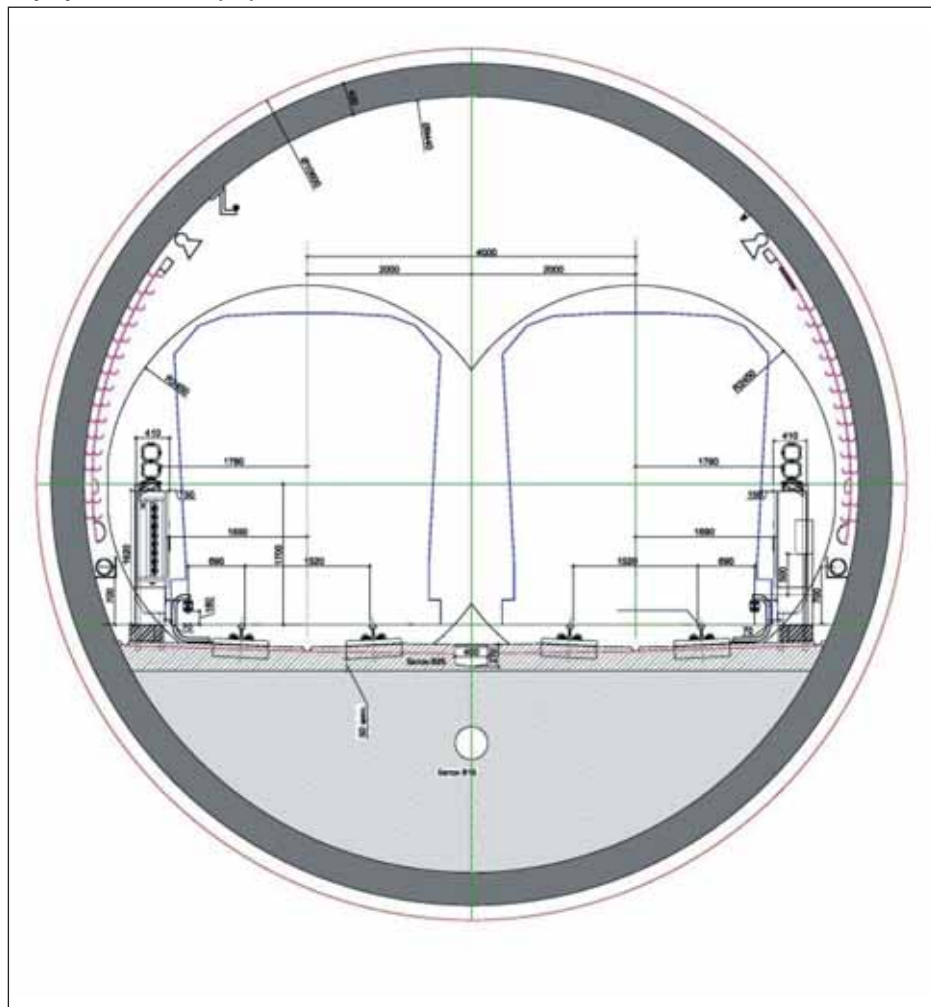
Внедрение новых конструктивных и технологических решений в консолидированную сеть метрополитена является достаточно сложной задачей. Требуется адаптация предлагаемых решений к нуждам эксплуатации, большим пассажиропотокам, характеристикам сильнообводненного грунта, нормативным документам и т. д.

Работа над адаптацией вызвала глубокое пересмотрение начальной модели. Результат этого процесса представлен ниже.

Тоннель

Размеры подвижного состава Московского метрополитена оказались практически такими же, как и в Мадриде. Существуют сле-

Двухпутный тоннель в разрезе





Типовая проектируемая станция Московского метрополитена при двухпутном тоннеле

дующие различия: в Москве используются восемь вагонов, а в Мадриде шесть, в Москве применяется нижний токосъём и напряжение тока 825 вольт, а в Мадриде жесткий верхний токосъём и напряжение 1500 вольт. Размеры подвижного состава определяют внутренний диаметр тоннеля (9,43 м в случае г. Мадрида при расстоянии между осями рельсов 3385 см и 3500 см в случае расположения стрелочных аппаратов).

Чтобы соблюсти габариты, указанные в ГОСТ 23961-80 при расстоянии между осями рельсов 3400 см и 4000 см соответственно, заказчик решил использовать ТПМК диаметром 10–10,5 м, которые позволяют иметь достаточные зазоры с использованием обделки необходимой толщины и соблюсти также габариты оборудования (шкафы сигнализации, электрические переключатели, пучки кабельные и т. д.) и строений.

Был принят нижний токосъём для упрощения эвакуации поездов и на станциях токосъём расположен под платформой станции.

Обделка кольца тоннеля состоит из шести равных элементов и одного специального ключевого элемента длиной 1,5 м каждый. Согласно расчетам, выполненным соблюдая специфику Москвы и для наиболее неблагоприятных условий (первые часы после бетонирования и манипуляции с обделкой), толщина обделки составляет 32 см. Заказчик, основываясь на своих собственных расчетах, решил принять толщину равной 40 см.

Прилагается типовое сечение тоннеля на Кожуховской линии.

Станции

При проектировании станций в Москве использовались некоторые общие с Мадридом концепты: строительные технологии cut&cover, up&down, самонесущие «стены в

грунте», протаскивание ТПМК через станцию. Создавался специфический для Москвы проект, в котором можно выделить следующие соображения.

- Длина станции составляет 164 м и позволяет разместить подвижной состав из восьми вагонов. На каждом конце станции располагаются эвакуационные выходы. Платформа имеет ширину как минимум 5 м. Ширина станции – 39 м, для того чтобы расположить на каждой платформе две группы из трёх эскалаторов. В плане станции более компактны по сравнению с существующими в Москве, имеют лучший коэффициент формы, который позволяет уменьшить длину и периметр станции.

- В отношении вертикального профиля, станция расположена в среднем на глубине 20 м (есть станции на большей глубине). Станция формируется из трех основных уровней: уровень платформ, технический уровень (этаж, на котором располагается основная часть технических помещений, машинных залов для тяжелых эскалаторов и т. д.) и уровень вестибюля, где находятся кассы, турникеты и т. д. Вестибюль интегрирован в «коробе» станции и состоит из двух частей по концам станции.

Почти на той же отметке, что и вестибюль станции расположен этаж входов на станцию, имеющих два ряда дверей, которые находятся на отметке приблизительно 5 м ниже поверхности земли.

- С точки зрения конструктивных решений станции принципиально аналогичны станциям в г. Мадриде с железобетонными несущими «стенами в грунте» толщиной 1,0–1,2 м. Сверху периметральных стен и свай-колонн сооружается плита покрытия. Плита перекрытия вестибюля передает нагрузки на плиту технического этажа, которая

рассчитана выдержать как вертикальные нагрузки, так и горизонтальные от «стен в грунте». Плита лотка в зоне наибольшей толщины имеет форму полукруга для прохода ТПМК. Эта форма наиболее подходящая, чтобы выдержать давление воды под лотком.

Для укрепления грунта под лотком выполняется jet grouting, который работает с одной стороны как расстрел и выдерживает горизонтальные нагрузки, уменьшая нагрузки и деформации на «стены в грунте».

Технологическое оборудование

Новшества, касающиеся технологического оборудования, должны быть внедрены в будущих проектах расширения метро при согласовании с метрополитеном г. Мадрида. Любое новшество на каком-либо участке и, более того, во всей сети метро, которая является решающим фактором для городского транспорта, должно быть предварительно изучено, проверено и противопоставлено предыдущему решению компаний, обслуживающей метрополитен. Решение, принятое этой компанией, будет считаться окончательным. Во многих случаях также будет необходимо внести изменения в нормативные документы. В этой ситуации находится Московский метрополитен и, скорее всего, через небольшой промежуток времени будут применены новые технологии, такие как сигнализация с использованием микропроцессоров или платформенные двери, которые в это время анализируются и испытываются в метрополитене. Хотелось бы повторить, что данный период времени, при котором выполняется расширения сети метро, представляется самым подходящим моментом для внедрения новых эффективных и самых современных технологий.

ЗАКЛАДНЫЕ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ И МОНТАЖНЫЕ ДЕТАЛИ

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

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

Сроки поставок 7-10 дней.

Оптимальное соотношение "цена-качество".



(495) 775-18-00

www.pmserv.com

НАСОСЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

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



**РАЗРАБАТЫВАЕМ
ПРОИЗВОДИМ
ОБСЛУЖИВАЕМ**

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

Агрегаты применяются:

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

Преимущества

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



**ремонтируем
импортные винтовые насосы**

ПРИМЕНЕНИЕ НАБРЫЗГ-БЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ В МОСКВЕ



фото А. Попов

М. С. Панкратов, зам. директора СМУ-19 Мосметростроя
И. А. Бородин, директор СМУ-19 Мосметростроя

Наверное, нет необходимости доказывать, что строительство метрополитена является наиболее эффективным методом решения транспортных проблем мегаполиса.

Плотность населения в современных городах постоянно увеличивается, и это приводит к тому, что транспортная инфраструктура, которая вполне удовлетворяла требованиям недавнего прошлого, оказывается недостаточной. Более того, предполагаемые потребности ближайшего будущего требуют еще более производительной системы транспорта. В случае с метрополите-

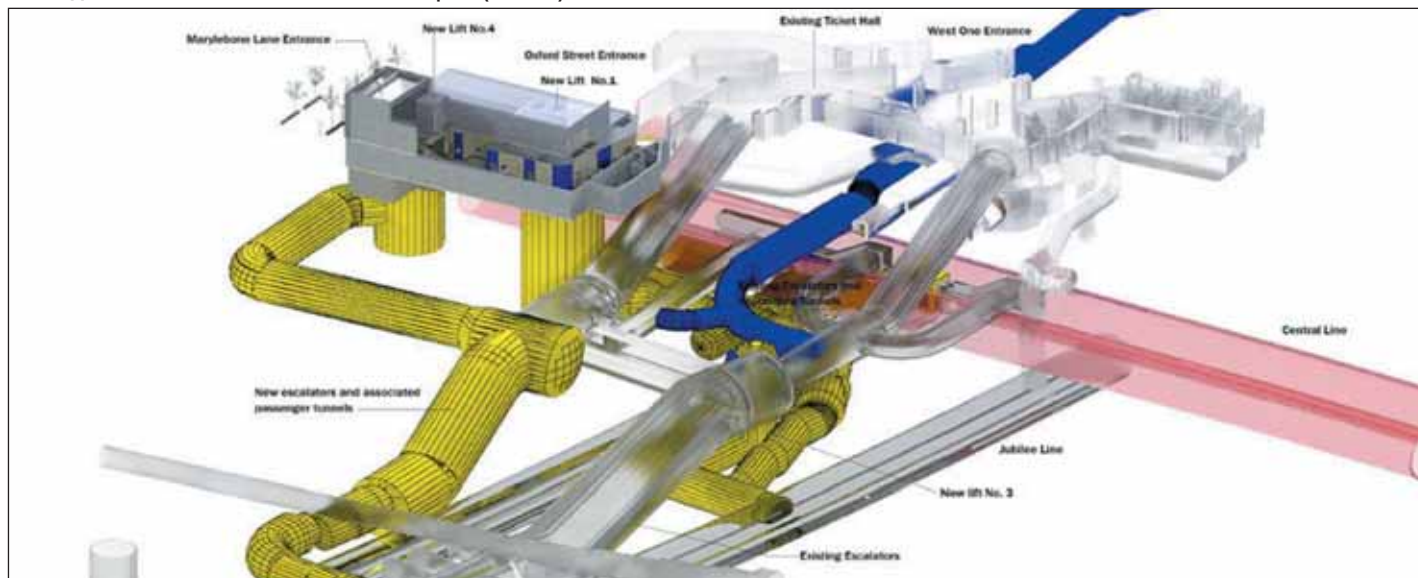
ном это означает необходимость строительства дополнительных линий и станций в давно освоенных и застроенных районах, повышения производительности существующих станций за счет введения в строй новых выходов, дополнительных переходов и пересадок (рис. 1).

Метростроение на городских окраинах позволяет применять относительно дешевые методы строительства станций и притоннельных сооружений с поверхности, однако в условиях плотной, иногда исторической, городской застройки открытый спо-

соб может привести к громадным затратам, связанным с высвобождением территории, перекрытием движения и выносом коммуникаций из зоны застройки. Также велики оказываются не прямые затраты, так называемая социальная цена, связанная с тем, что жители окрестных районов вынуждены мириться с перекрытием дорог, шумом движения тяжелого грузового транспорта и другими неудобствами.

Однако решением этих проблем может стать применение технологии набрызг-бетона, которая обладает большим количест-

Рис. 1. Дополнительный вход станции «Бонд стрит» (Лондон)



вом преимуществ перед традиционными методами.

- Аналогичная по несущей способности строительная конструкция принципиально дешевле.

Для устройства набрызг-бетонной крепи существует широкодоступное на рынке оборудование, причем комплект оборудования для устройства набрызг-бетона дешевле, чем укладчик чугунной обделки.

- Технология высоко механизирована.

Оператор управляет набрызгом с дистанционного пульта, прикладывая минимальные усилия. Работа с оборудованием напоминает скорее видеоигру, чем строительство. Не требуется забивать оправки, устанавливать лонгарины, ориентировать тубинги руками.

- Максимальная механизация достигается при применении технологии фибронабрызг-бетона.

В этом варианте функцию армирования выполняет стальная или полипропиленовая фибра, которая вводится в состав бетона при замесе на растворном узле. В этом случае отпадает необходимость в установке арок и сетки. Набрызг ведется непосредственно на породу без подготовительных работ.

В декабре 2013 г. ОАО «Мосметрострой» вынесло на обсуждение научно-технического совета департамента строительства Москвы предложение о прокладке опытного участка тоннеля с применением технологии фибронабрызг-бетона. Было одобрено строительство монтажной камеры укладчика между станциями «Фонвизинская» и «Бутырская» Люблинско-Дмитровской линии.

Камера представляет собой участок тоннеля длиной 40 м. Сечение показано на рис. 2.

В январе-феврале 2014 г. СМУ-19 Мосметростроя выполнило работы по устройству первого слоя набрызг-бетонной обделки внутренним диаметром 5850 мм (рис. 3).

В монтажной камере собрали классический укладчик чугунной обделки ТУ-1, и проходку возобновили с применением чугунной обделки.

Возведение постоянной обделки в камере (чугунной или железобетонной) планируется в январе-феврале 2015 г., что позволит вести наблюдения за крепью в течение года.

Камера находится в толще Воскресенских глин (которые представляют собой глины с прослойками известняка и мергеля).

Проходка камеры велась при помощи экскаватора-комбайна ИТС 120 (рис. 4). Экскаваторы-комбайны типа ИТС отличаются от обычных типом рабочего органа. Вместо стрелы, оснащенной фрезой, они комплектуются рычажной стрелой экскаваторного типа. На рукояти стрелы установлен гидромолот, который смонтирован на салазках с гидравлическим механизмом выдвижения. Такая конструкция позволяет в течение нескольких секунд выдвинуть гидромолот или, наоборот, втянуть его обратно и перейти к работе ковшом.

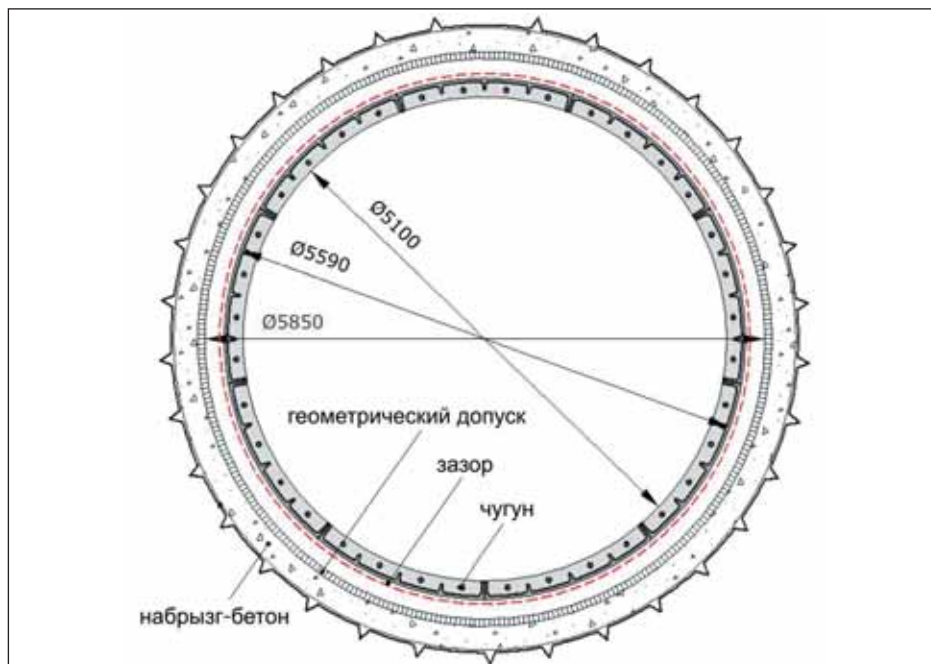


Рис. 2. Сечение монтажной камеры (окончание строительства)



Рис. 3. Монтажная камера (первый слой)

Рис. 4. Экскаватор-комбайн ИТС120

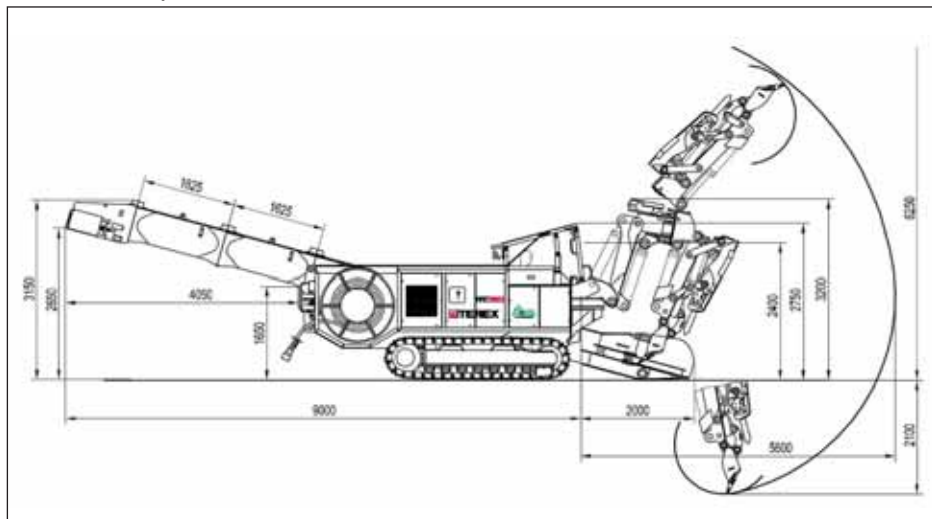


фото А. Попов



Рис. 5. Разработка забоя

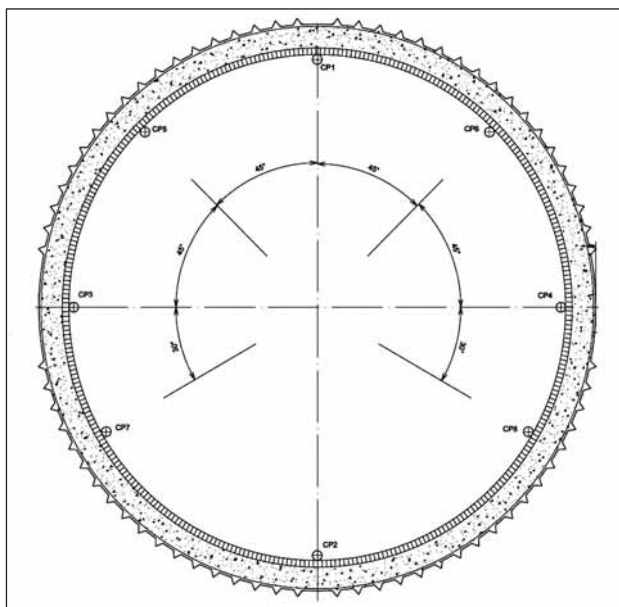


Рис. 6. Схема размещения маркеров мониторинга деформаций тоннеля

Применение рабочего органа экскаваторного типа помогает избежать налипания глины на фрезу комбайна. Ковш может зачерпнуть и погрузить на транс-

портер грунт любой консистенции, что исключает проблемы, связанные с работой комбайна на некальных пластичных грунтах.

Также комбайн ИТС 120 способен разрабатывать породу на глубину 2,1 м ниже уровня опирания гусениц, что позволяет ему разрабатывать круглое сечение.

Собственно набрызг осуществляется при помощи установки Меусо Огуа.

Применялась так называемая «мокрая» технология набрызга, когда бетонная смесь замешивается на бетонном заводе и при помощи автобетоносмесителя доставляется на строительную площадку. Далее бетонная смесь спускалась по бето-

тоноводу, размещенному в стволе на глубину 65 м. На дне ствола бетон загружался в пневмобетонукладчик типа Furukawa, который по рельсам буксировался к месту ве-

дения работ по набрызгу. Пневмобетонукладчик при помощи сжатого воздуха разгружался в бетононасос Меусо Suprema, который подавал бетон непосредственно к соплу набрызг-машины.

Разработка (рис. 5) велась заходками по 1 метру. После разработки очередной заходки комбайн отъезжал назад, и его место возле забоя занимала набрызг-машина. Для разминки оборудования в обратном своде тоннеля засыпался временный лоток.

На заводе в бетон добавлялся регулятор скорости гидратации, который позволял добиться сохранения живучести смеси на срок 8 и более часов. Применение регулятора гидратации приводит к уменьшению рисков, связанных с возможным застреванием автобетоносмесителя в пробке, а также позволяет не опасаться проволоочек с ведением работ на площадке.

Данная технологическая схема сводит требуемый персонал к минимуму: оператор комбайна, оператор набрызг-машины и несколько человек вспомогательного персонала. Для сравнения, экипаж классического укладчика часто превышает 10 человек.

Во время и после окончания проходки ведется постоянный мониторинг деформаций крепи. Каждые 5 м по сечению тоннеля расположены семь маркеров деформаций, положение которых контролируется маркшейдерскими методами (рис. 6). В настоящий момент наблюдения ведутся еженедельно. За четыре месяца наблюдений ни на одном маркере не было зафиксировано деформаций, превышающих 5 мм.

Во время выполнения работ несколько раз производился отбор кернов и контроль набора прочности бетона (табл.).

Полученные результаты доказывают, что прочность получаемого набрызгом бетона не вызывает опасений даже при экстремально низких зимних температурах.



Таблица

Маркировка образца	Возраст образца в сутках	Дата набрызга	Средняя прочность, МПа	Температура воздуха (на поверхности)
Пикет 20,5	17	17.01.2014	26,5	-14
Пикет 25,5	14	20.01.2014	24,5	-16
Пикет 30,5	9	25.01.2014	21,2	-19
Пикет 35,5	5	29.01.2014	22	-22

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

В. В. Чеботаев, к. т. н., НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС



Железобетонная плита является элементом конструкции многих сооружений. При проектировании этого элемента в первую очередь встает вопрос назначения толщины плиты и ее армирования. Как правило, классы бетона и арматуры, а также общие размеры сооружения и возможные нагрузки заданы заранее. Обычно для первого приближения выбирается аналог, и ведется расчет сооружения на возможные загрузки с определением усилий в элементах конструкции. Затем выполняются проверки прочности, трещиностойкости или раскрытия трещин и деформаций элементов конструкции. При излишних или недостаточных запасах конструкция изменится, и повторно осуществляется расчет с необходимыми проверками. Поиск конструкции с минимальной стоимостью не производится, поэтому ее стоимость получается почти всегда завышенной. Например, в проектах станций Московского метрополитена открытого способа работ толщина стен варьируется от 400 до 1000 мм, хотя их размеры идентичны, нагрузки близки и такой разницы быть не должно. Это влечет за собой увеличение стоимости, поскольку 1 см толщины стены станции изменяет общую стоимость примерно на 400 тыс. руб. В данной статье сделана попытка несколько исправить это положение.

Главным требованием к конструкции плиты является ее достаточная прочность. Для проверки прочности определяют расчетные усилия в железобетонной плите от воздействия расчетных нагрузок с учетом коэффициентов надежности по ответственности сооружения, по нагрузкам и по условиям работы. При проверке учитывают расчетные характеристики прочности бетона и арматуры. Согласно нормативному документу СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» условие прочности железобетонного сечения плиты шириной 1 м имеет вид:

$$R_b \cdot x = N + R_a \cdot F_a - R_s \cdot F_s$$

$$N \cdot e \leq R_b \cdot x \cdot (h_0 - x/2) + R_a \cdot F_a \cdot (h_0 - a'), \quad (1)$$

где x – высота сжатой зоны;

R_b – расчетная прочность бетона на одноосное сжатие;

R_a – расчетная прочность арматуры на сжатие и растяжение;

F_a и F_s – площади сечения растянутой и сжатой арматуры;

N – нормальная сила в сечении;

$h = h_0 + a$ – толщина плиты;

$a = a'$ – защитный слой бетона.

Поскольку сжатая арматура F_s назначается конструктивно, для оценки оптимальной толщины плиты ее влиянием пренебрегаем, тем самым создавая некоторый запас прочности:

$$R_b \cdot x = N + R_a \cdot F_a$$

$$N \cdot e \leq R_b \cdot x \cdot (h_0 - x/2). \quad (2)$$

$$x = (N + R_a \cdot F_a) / R_b$$

$$N \cdot e \leq (N + R_a \cdot F_a) \cdot [h_0 - (N + R_a \cdot F_a) / (2 \cdot R_b)] \text{ или}$$

$$(N + R_a \cdot F_a) \cdot 2 - 2 \cdot R_b \cdot (N + R_a \cdot F_a) \cdot h_0 + 2 \cdot R_b \cdot N \cdot e \leq 0. \quad (3)$$

В случае предельного состояния сечения:

$$N + R_a \cdot F_a =$$

$$= R_b \cdot h_0 \pm \sqrt{(R_b \cdot h_0)^2 - R_b \cdot [2 \cdot M + N \cdot (h_0 - a)]},$$

$$F_a = \frac{R_b \cdot h_0}{R_a} - \frac{N}{R_a} \pm$$

$$\pm \frac{\sqrt{(R_b \cdot h_0)^2 - R_b \cdot [2 \cdot M + N \cdot (h_0 - a)]}}{R_a}. \quad (4)$$

Для оптимизации стоимости плиты нужно найти минимум функции стоимости 1 м² плиты:

$$C_b \cdot (h_0 + a) + C_a \cdot F_a \cdot \gamma_a = \min, \quad (5)$$

где C_b – стоимость 1 м³ уложенного бетона;
 C_a – стоимость 1 т установленной арматуры;
 γ_a – объемный вес стали.

Подставляя (4) в (5) и дифференцируя полученное выражение по параметру h_0 с

приравниванием производной нулю, получим выражение для определения оптимальной толщины плиты:

$$\frac{A \pm (R_b \cdot h_0 - N/2)}{\sqrt{(R_b \cdot h_0)^2 - R_b \cdot [2 \cdot M + N \cdot (h_0 - a)]}} = 0,$$

где $A = 1 + C_b \cdot R_a / (C_a \cdot \gamma_a \cdot R_b)$.

Решая это уравнение относительно h_0 , получим:

$$R_b \cdot h_0 = N/2 +$$

$$+ \sqrt{N^2/4 + R_b \cdot [2 \cdot M - N \cdot a] / (1 - 1/A^2)},$$

$$R_a \cdot F_a = R_b \cdot h_0 - N -$$

$$- \sqrt{(R_b \cdot h_0)^2 - R_b \cdot [2 \cdot M + N \cdot (h_0 - a)]}.$$

Пример. Исходные данные: бетон В30, арматура А400, $C_b = 7100$ р/м³, $a = 0,04$ м, $C_a = 44200$ р/т, $\gamma_a = 7,85$ т/м³, $M = 0,80$ МН·м/м, $N = 0,92$ МН/м.

Величины силовых факторов приняты из расчета для стены станции метрополитена открытого способа работ, стоимость арматуры взята с коэффициентом 1,3 для приближенного учета расхода поперечной и конструктивной арматуры.

Тогда $A = 1,427$,

$R_b \cdot h_0 = 7,715$ МН/м, $h_0 = 0,454$ м, $h = 0,5$ м.
 $R_a \cdot F_a = 1,711$ МН, $F_a = 48$ см², $\mu = 1,1$ %.

Для статически определимых конструкций при известных расчетных нагрузках расчетные усилия определяются сразу, и также сразу можно определить оптимальную толщину плиты и ее армирование. Потом потребуются проверка ее трещиностойкости или раскрытия трещин.

Для статически неопределимых конструкций оптимальная толщина плиты может быть найдена путем последовательных приближений, поскольку величины силовых факторов в конструкции заметно зависят от ее жесткости.

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е. А. Хотеев, ведущий инженер ОАО «Мосинжпроект»

Стеклопластики широко применяются при строительстве объектов метрополитена по всему миру: в Европе, Панаме, Канаде, США, Турции, Саудовской Аравии, на Филиппинах. Имеющийся отечественный опыт применения стеклопластиковой арматуры связан преимущественно со строительством мостов.

Широкому применению стеклопластиковой арматуры (СПА), относящейся к классу арматуры неметаллической композитной (АНК), на территории России препятствует отсутствие современной нормативной базы. Действующих нормативных документов явно недостаточно для широкого применения композитной арматуры в строительстве сложных и ответственных объектов, которыми, безусловно, является метрополитен. Следует, однако, отметить, что развитие нормативной базы в этом направлении в России сейчас идет достаточно высокими темпами.

Расчет стеклопластобетонных конструкций (т. е. конструкций, армированных СПА) предлагается проводить по тем же методикам, что и расчет железобетонных конструкций. Очевидно, что при этом не учитываются особенности работы СПА, что приводит к снижению эффективности ее применения.

СПА применяется для армирования: «стен в грунте» (технология «Soft Eye») в местах врезки тоннелепроходческого механизированного комплекса, фундаментных плит, буронабивных свай, а также сборных элементов. Хомуты изготавливаются также из стеклопластиковой арматуры на заводах. Современные технологии позволяют изготовить замкнутые хомуты без разрывов и швов практически любой формы. Удельный вес СПА сопоставим с удельным весом бетона, что, с одной стороны, исключает всплытие арматуры, а с другой – снижает вес готовой конструкции примерно на 5–6 %. СПА обладает высокой коррозионной стойкостью, стойкостью к воздействию щелочей, кислот, большой прочностью на растяжение (нормативная 675 МПа против 500 МПа для класса А500С, 400 МПа для класса А400), отсутствием электропроводности.

К недостаткам СПА можно отнести меньший по сравнению со сталью модуль упругости (40 ГПа против 200 ГПа для стальной арматуры), возможность изготовления гнутых стержней только в заводских условиях и потерю несущей способности при температуре 180 °С против 500 °С у стальной арматуры.

Таким образом, учитывая обозначенные преимущества и недостатки СПА, можно выделить области ее эффективного применения при строительстве объектов метрополитена.



Рис. 1. Объемный каркас для секции «стены в грунте»

• «Стена в грунте», в особенности в местах входа и выхода ТПМК, где невозможно использование стальной арматуры. Обычно в этих местах «стена в грунте» не армируется, а несущая способность обеспечивается за счет устройства пригруза свай. СПА-каркасы изготавливаются без стальных элементов, что исключает опасность повреждения ТПМК (рис. 1 и 2).

• Сборные элементы, в частности сборная высокопрочная водонепроницаемая отделка тоннелей. Изогнутые элементы производятся серийно по предварительно определенным размерам. Такая практика принята европейскими компаниями, специализирующимися на производстве СПА.

Арматурный каркас собирается как конструктор из предварительно изготовленных элементов, что снижает трудоемкость арматурных работ, исключаются сваривание, вальцовка, резка арматуры. Соединения элементов выполняются с вязанием проволокой или пластиковыми стяжками.

Огнестойкость конструкций R90 для тоннелей в соответствии с [1] может быть достигнута с использованием микрофибры и увеличением защитного слоя бетона ориентировочно до 60 мм. Следует отметить, что при этом огнестойкость конструкций должна подтверждаться результатами огневых испытаний по [2], условия которых должны соответствовать реальным условиям работы отделки. То есть, внешняя сторона отделки должна контактировать с тампонажным слоем и грунтом, обладающими большей, чем у воздуха, теплопроводностью.

На рис. 4 приведены графики результатов испытаний блоков отделки на изгиб, проведенных в европейской лаборатории (сравнение блоков, армированных стальной и стеклопластиковой арматурой). Несущая способность СПА-блоков может значитель-

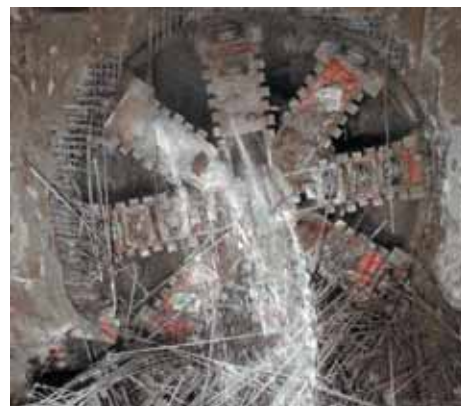


Рис. 2. Выход ТПМК через «стену в грунте», армированную СПА

но превышать несущую способность блоков со стальной арматурой. Однако деформативность СПА-блоков оказалась выше. Для стальной арматуры наблюдается характерная площадка текучести. Характерный участок пластической деформации у СПА-блоков также наблюдается, абсолютно хрупкого разрушения не происходит.

Положительный эффект также дают диэлектрические свойства СПА. Сооружения метрополитена эксплуатируются в условиях воздействия на них сильного магнитного поля, приводящего к возникновению блуждающих токов в стальной арматуре и электрокоррозии железобетона. СПА не обладает токопроводящими свойствами, возможность возникновения электрокоррозии исключается.

• Фундаментные плиты. Требования к огнестойкости фундаментных плит не предъявляются, поэтому возможно эффективное применение СПА в фундаментных плитах (например, в лотковых плитах станций метрополитена) с меньшей величиной защитного слоя и, как следствие, меньшим процентом армирования.

Перспективным представляется применение стеклопластиковой фибры (СПФ) при строительстве объектов метрополитена. СПФ имеет ряд преимуществ перед другими типами фибры. Удельный вес СПФ близок к удельному весу бетонной смеси, поэтому при введении и перемешивании она равномерно распределяется по объему бетона. СПФ не адсорбирует воду, подвижность смеси не снижается (рис. 5).

Бетонную смесь с СПФ возможно наносить методом торкретирования на тонкую напыляемую гидроизоляция. Для торкретирования возможно использовать то же оборудование, что и для других типов фибры.



Рис. 3. Пространственный каркас для армирования блоков высокоточной обделки

Основными областями применения СПФ являются:

- *обделки тоннелей из фибронабрызг-бетона* с СПФ обладают высокой коррозионной стойкостью, возможно нанесение на напыляемую гидроизоляцию без защитного слоя универсальным оборудованием (наносить СПФ любой длины и сечения). При вводе в бетон СПФ не снижается его подвижность, не требуется дополнительное введение пластификаторов или изменения В/Ц;

- *сборные элементы*, в частности, блоки высокоточной обделки. Фибра увеличивает трещиностойкость, уменьшает требуемое количество рабочей арматуры на 20–30 %, повышает несущую способность на восприятие локальных нагрузок (в частности, от воздействия щитовых домкратов);

- *жесткое основание под верхнее строение пути*. Фибра позволяет существенно повысить показатели трещиностойкости, истираемости, ударной вязкости, что в итоге приводит к увеличению надежности и долговечности конструкции.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- имеется большой объем информации (техническая документация, справочная литература, нормативная документация, результаты испытаний и практического применения [3]) от производителей для дальнейшей работы и облегчения внедрения в России СПА и СПФ. Все это позволит ограничиться минимальным набором испытаний материалов и изделий на территории России, призванных, в первую очередь, подтвердить имеющийся опыт;

- применение СПА и СПФ в России может иметь реальный технический и экономический эффект, особенно в долгосрочной перспективе, учитывая особые свойства стеклопластика. Практическому применению конструкций с СПА и СПФ должна предшествовать опытно-экспериментальная и теоретическая проработка, включающая анализ отечественного и зарубежного опыта применения стеклопластиков в подземном стро-

Лабораторные испытания

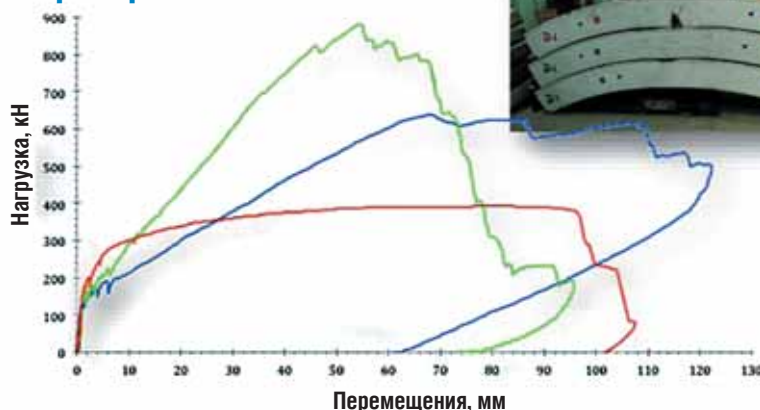


Рис. 4. Схема испытаний блоков и результаты. Зависимость «перемещения – нагрузка» (синий – блок армированный СПА, зеленый – оптимизированное армирование СПА (дополнительное усиление обмоткой из стекловолокна, перераспределение рабочих стержней), красный – стальная арматура)

Таблица

Сравнение характеристик стальной, полипропиленовой фибры и СПФ

Наименование	Стальная	Полипропиленовая	Стеклопластиковая
Модуль упругости, ГПа	200	7–10	>25
Удельный вес, кН/м³	78,5	9	17,5–20
Предельная температура, °C	500	150–170	250
Коррозионная стойкость	низкая	средняя	высокая
Прочность на растяжение, МПа	1100	550–640	>550
Рекомендуемая дозировка, кг/м³	20–60	3–6	5–18

ительстве, контрольные испытания и сертификацию на территории России.

Учитывая высокую степень готовности, в ближайшие шесть-восемь месяцев планируется:

- провести сравнительные испытания блоков обделки с СПА и стальной арматурой на территории России. Целью испытаний является определение корректности принятой на настоящий момент методики расчета СПА;

- провести испытания контрольных образцов с различными дозировками СПФ (для определения прочностных и деформационных характеристик, а также характеристик трещиностойкости, и их зависимости от дозировки фибры);

- разработка методик расчета конструкций с СПА и СПФ с учетом нелинейной стадии работы конструкций;

- сбор полученных данных, обработка и выпуск на основе их национального стандарта на расчет, проектирование и производство конструкций объектов метрополитенов с СПА и СПФ.

Литература

1. СП 120.13330.2012 «Метрополитены».
2. ГОСТ 30247.0-97 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования».



Рис. 5. Осадка конуса (определение подвижности бетонной смеси). Слева – бетонная смесь без фибры, справа – добавление фибры из расчета 8 кг/м³

3. Composite Solutions for Construction Industry, ATP s.r.l. Construction Composites, Italy, 2014.



СРАВНЕНИЕ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКИХ СТОЛОВ В УСЛОВИЯХ МОСКВЫ

М. С. Панкратов, зам. директора СМУ-19 Мосметростроя

С. В. Сомьянов, главный инженер СМУ-19 Мосметростроя

В 2011 г. был дан старт амбициозной программе развития Московского метро. Крупнейшим проектом стало продление на севере столицы Люблинско-Дмитровской линии (ЛДЛ). Строительство линии началось еще в конце 80-х годов, первый её участок от ст. «Чкаловская» до ст. «Волжская» был пущен в 1995 г., таким образом ЛДЛ стала первой линией, полностью открытой уже после распада Советского Союза. В конце 90-х годов, из-за отсутствия финансирования, строительство было полностью остановлено. Недостроенные станции на участке «Чкаловская» – «Марьино Роцца» были на несколько лет заброшены. Работы возобновили в 2004 г. на станциях «Сретенский бульвар» и «Трубная», которые были открыты в 2007 г. К тому моменту станции в пределах Кольцевой линии не сдавались уже 19 лет. Далее, в 2010 г. открылись «Достоевская» и «Марьино Роцца».

Следующим участком стало продление ЛДЛ далее на север, которое предполагало строительство шести новых станций: «Бутырская», «Фонвизинская», «Петровско-Разумовская», «Окружная», «Верхние Лихоборы» и «Селигерская». Все станции, кроме последней, глубокого заложения.

Важнейшей особенностью проекта стало отсутствие советского задела на всех станциях, кроме «Петровско-Разумовской». То есть для пяти станций требовалось полноценное освоение площадок и строительство всей необходимой временной инфраструктуры.

Для обеспечения работ было необходимо строительство десяти рабочих стволов. Для вентиляционной системы линии требовалось еще шесть новых стволов. Среди рабочих стволов пять строились внешним диаметром 6 м, остальные пять – внешним диаметром 8,5 м. Для вентиляционных стволов был заложен диаметр 6 м.

Опыт строительства стволов позволяет сравнить между собой несколько примененных технологий:

- классическая технология проходки с замораживанием;
- проходка под защитой «стены в грунте» из буронабивных свай;
- технология ВСМ (опускной колодец в тиксотропной рубашке).

Самые плохие результаты были получены с использованием ограждения из буронабивных свай. Технология имеет множество недостатков:

Несмотря на то, что теоретически такое ограждение является герметичным, на

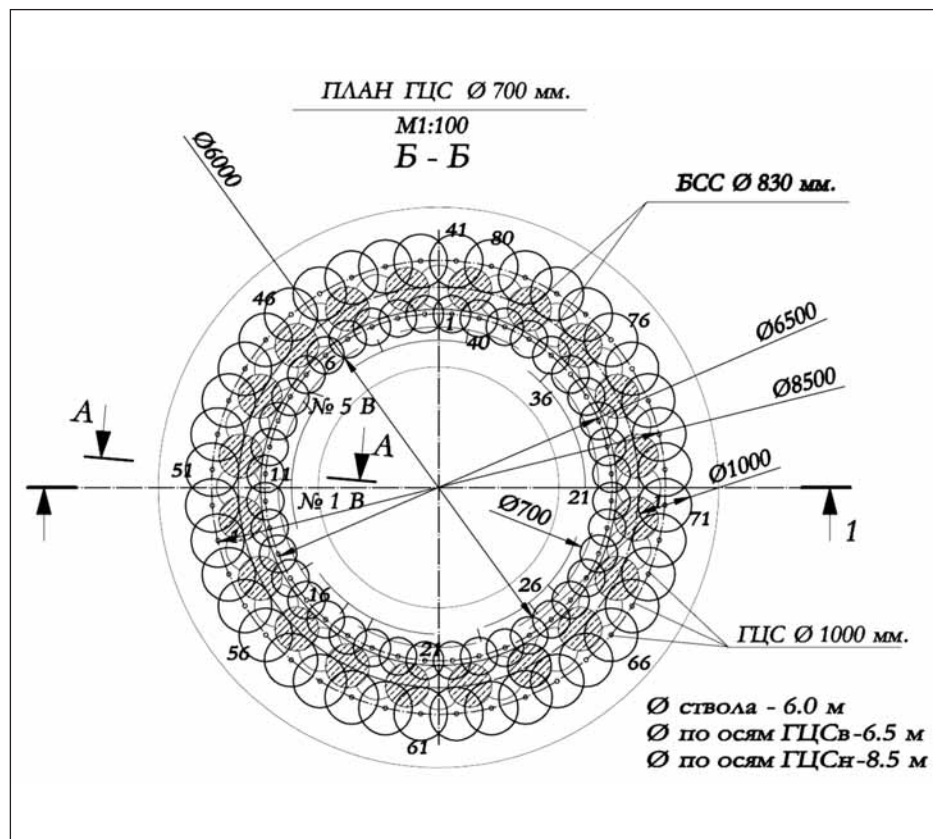


Рис. 1. Пример ограждения

практике очень сложно добиться идеальной вертикальности свай и отсутствия между ними зазоров. С увеличением глубины сложности еще более возрастают, так как добиваться строгой вертикальности свай становится все сложнее. Для уменьшения рисков прорыва воды и неустойчивых грунтов необходимо дополнительно выполнять по контуру свайного ограждения ряд грунтоцементных свай по технологии Jet Grout, а лучше два ряда – по внутреннему и внешнему контурам. Ограждение становится весьма дорогим, но даже при наличии защитного контура из закрепленного грунта прорыв грунта исключить нельзя.

В случае если прорыв воды все же происходит, это приводит к очень дорогим и длительным работам по ликвидации аварийной ситуации. Ствол приходится затопливать, далее при помощи методов подводного бетонирования на его дне выполнять пробку (если давление грунтовых вод слишком высоко, то возможно даже армированную). После набора прочности бетона пробку можно производить осушение. После откачки воды, через бетонную пробку производится бурение скважин и

инъекционное закрепление грунтов. Далее возможно продолжение проходки, при этом необходимо разрушить выполненную на предыдущем этапе бетонную пробку (что особенно трудоемко при наличии армокаркасов).

Из-за плохих гидроизоляционных характеристик буровые сваи не могут служить постоянной конструкцией объектов метрополитена, особенно это относится к вентиляционным стволам, конструкции которых работают в условиях знакопеременных температур. Наличие в обделке воды приводит к быстрому разрушению конструкции. Это влечет необходимость выполнения внутри ствола второй, постоянной обделки из, например, чугунных тубингов, что окончательно убивает все экономические преимущества.

В заключение длинного списка недостатков бурящихся свай следует указать ограничения по глубине. Глубины более 40–50 м являются для данного метода недостижимыми. Это приводит к необходимости переключаться на проходку горным способом. К счастью, в Москве на глубинах 30–40 м преимущественно (но не всегда) начинаются сравнительно устой-

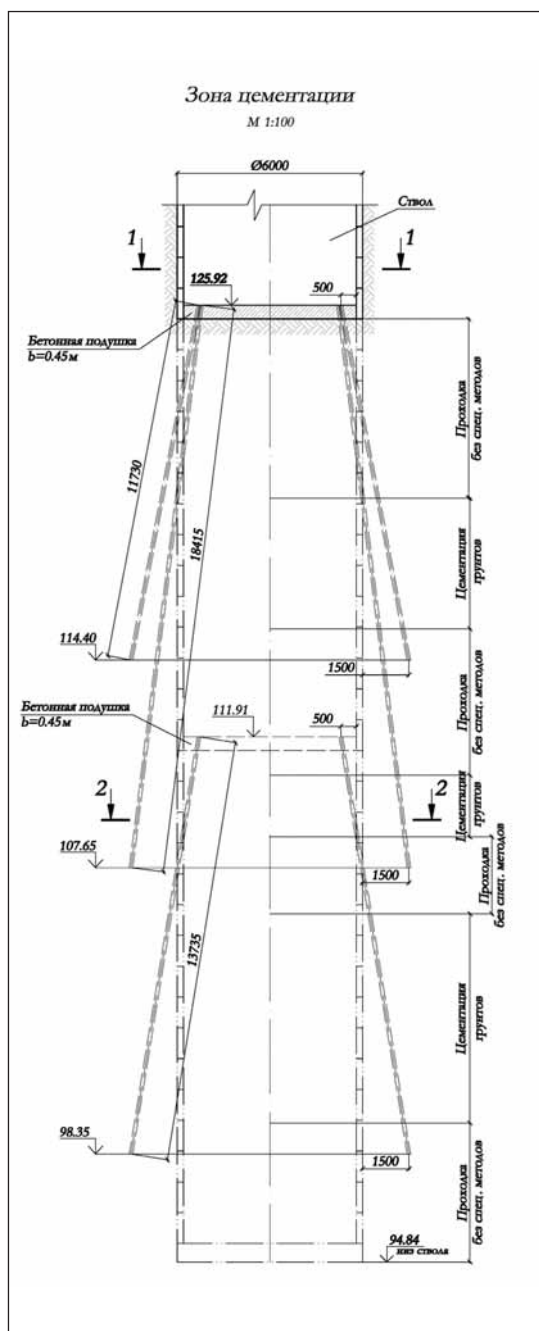


Рис. 2. Типовая схема цементации в несколько этапов



Рис. 3. Заморозка грунта вокруг ствола



Рис. 4. Проходка традиционным способом

чивые грунты, однако остается риск поступления подземных вод. В случае если ожидаются большие водопритоки, вполне целесообразной оказывается опережающая цементация грунтов.

Классическим методом строительства глубоких стволов является применение замораживания грунтов. При использовании этого метода по контуру ствола создается ледогрунтовой массив, выполняющий функцию противодиффузионной завесы.

Разработка грунта, как правило, в верхней части ствола ведется механическим способом и с определенной глубины – буровзрывным. На современном этапе часто проходка ведется механическим способом до самого дна ствола, это связано со сложностями ведения буровзрывных работ (спецтранспортровка взрывчатки, жало-

бы жителей окружающих домов на шум и вибрацию, нехватка квалифицированных взрывников, сложности и задержки при получении разрешений). В качестве средства разработки и погрузки грунта хорошо себя зарекомендовали компактные экскаваторы типа BROKK. Такие машины имеют максимальный вес (а значит и энергию удара гидромолота) при заданных геометрических ограничениях. Однако при строительстве ствола диаметром 8,5 м на его дне едва удастся поместить экскаватор весом всего около 4 т. При этом нужно обеспечить место для опускания проходческой бабды, в которую ведется погрузка породы. Геометрические ограничения стволов диаметром 6 м вынуждают использовать еще меньшие типоразмеры. На прочных коренных грунтах производительность работ падает до очень маленьких значений.

Другим хорошо известным недостатком классического метода является порядок монтажа обделки. Чугунные тубинги опускаются вниз при помощи крана, где они монтируются при помощи лебедок и оправок. Этот процесс является очень трудоемким и опасным, в XXI веке находится все меньше людей, готовых подвергать себя таким испытаниям (особенно за весьма умеренную заработную плату). Все это приводит к тому, что скорость проходки ствола традиционным способом редко превышает одно кольцо в несколько дней.

Также негативно на сроке строительства сказывается другой хорошо известный недостаток традиционной технологии – время заморозки. Для создания надежного ледогрунтового массива необходимо несколько месяцев.



Рис. 5. Проходка ствола методом ВСМ



Рис. 6. Фрезерный рабочий орган

Для полной характеристики классического метода следует отметить, что он вовсе не является безрисковым. Известны случаи, когда из-за поступления в грунт горячей воды (из поврежденных трубопроводов) заморозку не удавалось выполнить месяцами. Другой хорошо известной проблемой замораживания является отклонение морозильных колонн от вертикальности. При больших отклонениях между колоннами могут образоваться зазоры и, соответственно, окна незамороженного грунта. При разработке грунта до уровня такого окна произойдет прорыв неустойчивого грунта и воды, с которым придется бороться методами, описанными выше. Также осложнением при замораживании является нали-

чие градиента уровня подземных вод, как это часто бывает в непосредственной близости от рек и других водоемов. В таком случае воды находятся в состоянии движения, и создать замороженный массив гораздо сложнее (дольше и дороже) из-за постоянной фильтрации охлажденной воды из зоны замораживания.

Все эти сложности и риски приводят к тому, что реальный средний срок строительства ствола традиционным способом превышает 12 месяцев (а в особо сложных геологических условиях может превысить и 24 месяца).

Так же как и в случае с бурсекущими сваями глубина одного яруса замораживания ограничена величиной 40–50 м, поэто-

му строительство более глубоких стволов требует применения других методов борьбы с грунтовыми водами после выхода из зоны замораживания.

Третьей технологией, примененной при строительстве стволов ЛДЛ, является ВСМ. Она, по сути, представляет собой разновидность технологии опускового колодца в тиксотропной рубашке. Физическая сущность метода заключается в том, что на дне ствола производится разработка породы, и обделка ствола опускается вниз под действием собственного веса.

Сборка обделки осуществляется на поверхности, при помощи грузоподъемного крана.

Разработка грунта при этом ведется при помощи рабочего органа фрезерного типа, прикрепленного к стволу.

Фреза имеет мощность 360 кВт, что соответствует самой тяжелой весовой категории проходческих комбайнов. Такая мощность позволяет надежно и эффективно разрабатывать любые породы с прочностью до 150 МПа. Полностью решена проблема транспорта грунта на поверхность, так как разработанная порода выдвигается при помощи системы гидротранспорта. То есть разрушенный грунт подхватывается потоком воды и при помощи насосов перекачивается на поверхность. На поверхности грунт отделяется от воды сепарационной установкой. Грунт вывозится на полигон, а вода возвращается обратно в цикл системы гидротранспорта.

Технология рассчитана на работу до глубины 85 м, но в зависимости от конкретных условий возможно применение на глубинах до 150 м.

Важнейшим преимуществом технологии является полная нейтрализация рисков, связанных с грунтовыми водами, и минимизация рисков, связанных с неустойчивыми грунтами. Так как в ходе проходки ствол остается затопленным водой, грунтовые воды не создают каких-либо ограничений. Слой воды (или при необходимости бентонита) в стволе создает активный пригруз забоя ствола и тем самым предотвращает возможное выпирание и переработку грунта. Несмотря на то, что полностью исключить переработку невозможно, технология позволяет реализовать наиболее безопасный подход. По уровню надежности технология эквивалентна применению гидроцита при строительстве горизонтальных тоннелей.

Несмотря на очевидные технологические преимущества, недостатком метода является более высокая цена строительства. При этом следует отметить, что цена превышает некоторую нормативную сметную стоимость ствола, построенного традиционным способом, а не реальную среднюю стоимость, с учетом всех возможных рисков и аварий, ликвидация которых может повысить конечную стоимость ствола в несколько раз.

С нами строить легко!

- Проектирование и строительство подземных частей технически сложных и уникальных объектов (подземные автостоянки, транспортные развязки, гидротехнические сооружения)
- Ограждение котлованов
- Закрепление грунтов
- Усиление фундаментов
- Выполнение работ на памятниках истории и архитектуры



г. Пермь. ул. Кронштадтская, 35
тел./факс (342) 236-90-70
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82
тел. в Красноярске (391) 208-17-15
тел. в Казани (843) 296-66-61

тел. в Москве (495) 643-78-54
тел. в Самаре (846) 922-56-36
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75
тел. в Уфе (917) 378-07-48
тел. в Челябинске (351) 235-97-98

www.new-ground.ru, info@new-ground.ru

О ПРОБЛЕМАХ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В. П. Прохоров, Вице-президент Всемирной Академии Наук Комплексной Безопасности, к. т. н., доцент, главный специалист ОАО «Метрогипротранс»

Безопасность перевозки пассажиров на электроподвижном составе метрополитена во многом зависит от пожарной безопасности. В свою очередь, пожарная безопасность в данном случае складывается из ряда компонентов. В частности, это конструктивные меры, направленные на снижение пожарной опасности вагона (выполняемые на заводе), комплекс пожарно-профилактических работ при выполнении технического обслуживания и ремонтов всех видов на вагонах в полном объеме (в электродепо), оснащение вагонов системами пожарной автоматики и первичными средствами пожаротушения (в электродепо и в дальнейшем на заводе).

В Московском метрополитене в настоящее время эксплуатируются вагоны разных серий, выпущенные в различные годы: от серии Еж 508Т (50-х годов прошлого века) до современных вагонов серии 81-760/761. Все вагоны – советского и российского производства. При общем количестве эксплуатируемого парка вагонов свыше 4900 шт. преобладают вагоны серии 81-717/714 (около 3000 шт.) Приведенный типаж вагонов, по сути, отражает эволюцию конструкций вагонов (в том числе и эволюцию их пожарной опасности) за последние 60 лет работы Московского метрополитена.

Пожарная опасность вагонов предопределена их конструктивными особенностями.

В конце XX века на Московском и других метрополитенах произошел ряд крупных пожаров в электропоездах:

- 10 июля 1981 г., Москва, ст. «Октябрьская». Пожар электропоезда на соединительной ветке. Пожар начался под полом вагона в ящике аккумуляторной батареи. Сгорело 4 вагона. При тушении пожара пострадало свыше 20 пожарных. Из других электропоездов было эвакуировано свыше 4000 человек.

- 17 января 1994 г., Москва, электродепо «Владыкино». Пожар электропоезда на соединительной линии. Горение началось в аппаратном отсеке хвостового вагона. Сгорело 4 вагона. При тушении пострадало 17 пожарных, работавших в тоннеле.

- 25 октября 1995 г., г. Баку, главный путь перегона «Улдуз» – «Нариманов». Пожар электропоезда начался под полом 4-го вагона в 5-вагонном составе. Погибли 286 человек. Сгорело 2 вагона.

Все перечисленные пожары объединяли два признака:

- пожары произошли на вагонах серии 81-714/717 (так называемых, номерных вагонах);

- все пожары начинались в отсеках электротехнического оборудования;

- в вагонах полностью (до колесных тележек) выгорала пожарная нагрузка, составлявшая около 50 кг/м².

Материалы расследования этих пожаров стали основой для большой работы по противопожарной модернизации электроподвижного состава метрополитенов России и стран СНГ.

Силами специалистов Санкт-Петербургского филиала ВНИИПО МВД России, СКБ «Метро» Метровагонмаш и метрополитенов были сформулированы требования к кабельной продукции, применяемой в электрических схемах вагонов, аппаратам защиты схем, к отделочным материалам и т. д. В 1996 г. были выпущены нормы пожарной безопасности НПБ 109-96 «Вагоны метрополитена. Требования пожарной безопасности».

В соответствии с требованиями норм были внесены конструктивные изменения на новых вагонах, выпускаемых заводами, т. е. вагоны прошли противопожарную модернизацию:

- пожарная нагрузка уменьшена до 35 кг/м²;

- в электрических схемах вагонов стали применяться кабели с изоляцией, не распространяющей горение;

- в отделке салонов вагонов нашли применение материалы, которые соответствовали по пожарно-техническим характеристикам требованиям норм;

- введен параметр предела огнестойкости для огнезадерживающих конструкций вагона (пола и перегородки аппаратного отсека), равный 45 мин.

Московский метрополитен продвинулся далее всех. С 1996 г. электроподвижной состав (помимо требований НПБ 109-96) стал оснащаться Автоматической системой обнаружения и тушения пожаров (АСОТП) «Игла». Объектами защиты на вагонах были избраны электротехнические отсеки подвагонного оборудования, аппаратный отсек и кабина машиниста в головном вагоне. Отдельно защищались подбиваемые объемы в салонах вагонов. В качестве исполнительных средств использовались самосрабатывающие порошковые огнетушители ОСП-1. В течение трех лет на средства правительства Москвы был оснащен АСОТП «Игла» весь эксплуатируемый парк вагонов.

Необходимо подчеркнуть, что система «Игла» предназначена для тушения «технологических» пожаров в закрытых электротехнических отсеках вагонов и, главным образом, подвагонного оборудования. По статистике за период с 1996 по 2014 г. на электроподвижном составе Московского метрополитена произошло 22 пожара в отсеках электротехнического оборудования. Все пожары были потушены штатным срабатыванием «Иглы». Пожары при этом не выходили за габариты отсеков, что иллюстрирует высокую эффективность АСОТП. Таким образом была решена проблема защиты вагонов от пожаров подвагонного оборудования. Однако защита отсеков подвагонного оборудования средствами пожарной автоматики не решает в полном объеме проблему противопожарной защиты вагона.

Другим очень важным направлением работы по снижению уровня пожарной опасности эксплуатируемого парка вагонов стало ужесточение контроля выполнения смазочных работ на подвижном составе при проведении технического обслуживания и ремонта. Конечной целью этого контроля стало уменьшение выбросов смазочных материалов из маслонаполненных узлов и агрегатов на подвагонное оборудование. Установлено, что в результате выбросов смазочных материалов из подвижного состава на подвагонном оборудовании состава образуются маслопылевые отложения. В свою очередь, маслопылевые отложения в значительной степени повышают пожарную опасность подвижного состава. Однако последовательная пожарно-профилактическая работа, реализованная силами самого метрополитена, дала положительный результат: в начале 2000-х годов на метрополитене резко сократилось число случаев загорания маслопылевых отложений на подвагонном оборудовании.

Весьма значимой и нерешенной проблемой для подвижного состава осталась защита салона вагона метрополитена от поджогов с помощью легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). События последних лет новейшей истории метрополитенов мира обозначили эту проблему и требуют ответных оперативных решений.

В метрополитене г. Тегу (Южная Корея) в 2003 г. произошел пожар электропоезда на станции. Пожар начался с умышленного поджога салона вагона с помощью

ЛВЖ. Пассажир вылил на пол вагона около 5 л бензина и поджег его.

Следует особо отметить, что современный электроподвижной состав метрополитена в Южной Корее имеет основательную пассивную противопожарную защиту. Такая пассивная защита реализована и на вагонах метрополитенов России. Однако, как оказалось, в условиях инициации пожара в салоне вагона горением ЛВЖ (бензина) пассивной противопожарной защиты недостаточно. Этот пожар показал уязвимость современного электроподвижного состава при умышленных поджогах и террористических актах.

Комплекс многочисленных организационных и технических мероприятий в рамках антитеррористической работы на транспорте и метрополитенах в частности, к сожалению, не дает полной гарантии предупреждения самого теракта. События в новейшей истории убедительно это доказывают. Вот небольшой перечень непредотвращенных терактов на транспорте последних лет:

- 29.12.2013 г. Волгоград. Взрыв на вокзале;
- 21.10.2013 г. Волгоград. Взрыв в автобусе;
- 24.01.2011 г. Москва. Домодедово. Взрыв в зале аэропорта;
- 29.03.2010 г. Ст. «Лубянка» и «Парк Культуры» Московского метрополитена. Взрывы в вагонах;
- 06.02.2004 г. Перегон между ст. «Автозаводская» и «Павелецкая» Московского метрополитена. Взрыв в вагоне.

Всего в 2013 г. в России было совершено (не предотвращено) более 30 терактов.

Во всех перечисленных случаях при взрывах погибали и калечились люди, но пожаров не было. Вернемся к метрополитену. Значит ли это, что взрыв не может инициировать пожар? Специалисты понимают, что для организации пожара вагона после взрыва организаторами теракта может быть применен другой набор компонентов взрывного устройства. Специалисты также хорошо представляют последствия пожара в электропоезде метрополитена, если он после взрыва остался в тоннеле.

Выводы

1. В настоящее время для пассажиров метрополитена существует потенциальная угроза пожара ЛВЖ в салоне вагона с массовой гибелью пассажиров.

2. Пожар ЛВЖ в салоне характерен нарастанием опасных факторов до критических величин в течение нескольких секунд.

3. Угроза пожара в салоне после взрыва в вагоне реальна.

4. Автоматическая система обнаружения и тушения пожара «Игла» предназначена для тушения «технологических» пожаров в отсеках подвагонного оборудования.

5. Комплекс пожарно-профилактических мероприятий не выполнен в полном объеме: на вагонах отсутствует система, минимизирующая последствия непредотвращенных терактов.

6. Подсистема тушения пожара в салоне вагона метрополитена отсутствует.

7. Автоматическая система обнаружения и тушения пожара (АСОТП «Игла») имеет потенциал для расширения ее функций, в том числе и для тушения пожара в салоне.

8. В условиях продолжения терактов на объектах транспорта для минимизации тяжести их последствий необходимо оснащение вагонов подсистемой автоматического пожаротушения салона на эксплуатируемом парке вагонов Московского метрополитена.

В период с 2006 по 2009 г. на Московском метрополитене проводились разработка и испытания Подсистемы автоматического пожаротушения тонкораспыленной жидкостью салонов вагонов (ПАП ТЖ СВМ). Разработка Подсистемы велась инициативно на средства двух фирм «Темперо» и «ЭПОТОС» под руководством автора этой статьи.

Было определено назначение Подсистемы:

- тушение пожаров классов А и В в салоне вагона при движении электропоезда с пассажирами. При этом запуск Подсистемы может осуществляться в автоматическом или дистанционном (из кабины машиниста) режиме;
- тушение пожаров классов А и В в салоне вагона в ночное время при отстое электропоездов на станциях, станционных и главных путях в тоннелях, тупиках и депо. Запуск Подсистемы в данном случае должен осуществляться только в автоматическом режиме.

Отличительной особенностью Подсистемы стал способ подачи тонкораспыленной жидкости из насадков (снизу-сбоку-вверх), а также модульное построение подсистемы. В качестве модуля использовались корпуса вместимостью 6 л с головкой, управляемой электромагнитным клапаном и насадком низкого давления. Насадки и вся гидравлика разрабатывались в Московском авиационном институте. Распределенное размещение модулей по вагону в количестве 16 шт. позволило обеспечить гарантированное тушение пожара класса В на всей площади вагона (50 м²). Совокупный запас жидкости в модулях на одном вагоне составляет 96 л. Все насадки располагаются в уровне пассажирских сидений.

Избранное компоновочное решение позволяет оснастить Подсистемой весь эксплуатируемый парк вагонов (независимо от серии) без их разборки. Работы по монтажу Подсистемы можно выполнять в любом электродепо.

Разработчиками предполагалось, что Подсистема будет внедряться на эксплуатируемом парке вагонов Московского метро-

политена. Этот парк вагонов (общее количество около 4900 шт.) уже оснащен автоматической системой обнаружения и тушения пожаров «Игла», предназначенной для тушения «технологических» пожаров, поэтому надстройка Дооснащение АСОТП «Игла» новой подсистемой имеет логику в виде уже имеющихся на вагонах блоков контроля и информации, линий связи и т. д. При этом будут реализованы следующие функции: тушение пожаров огнетушащими порошковыми составами внутри электротехнических отсеков, тушение пожаров в салонах вагонов тонкораспыленной жидкостью при движении электропоезда с пассажирами, а также тушение пожаров в автоматическом режиме при ночном отстое поездов.

Разработанная Подсистема прошла приемочные испытания. Кроме этого, с 2010 г. по декабрь 2012 г. проводились испытания электронных компонентов. Испытания подтвердили эффективность и надежность Подсистемы. В настоящее время готовятся материалы по сертификации новой версии АСОТП «Игла» с Подсистемой автоматического пожаротушения тонкораспыленной жидкостью салонов. А что же дальше?

Разработчиками подсистемы автоматического пожаротушения тонкораспыленной жидкостью салонов вагонов произведен предварительный расчет стоимости дооснащения одного вагона элементами разработанной подсистемы. Цена дооснащения – 500 тыс. руб. Соответственно стоимость дооснащения всего парка вагонов Московского метрополитена составит около 2,5 млрд руб. По сути, это цена гарантии пожарной безопасности перевозки пассажиров на электроподвижном составе в столичном метро.

Общеизвестно, что ни одна спецслужба в мире не может гарантировать предупреждение террористического акта. Таким образом, при системном подходе к проблеме противопожарной защиты электропоездов метрополитенов, вагоны должны быть защищены как от «технологических» пожаров, так и пожаров, вызванных умышленными поджогами и терактами. Новейшая история непредотвращенных терактов на Московском метрополитене показывает высокую степень уязвимости вагонов и пассажиров.

Однако не секрет, что прежнее руководство Московского метрополитена не горело желанием дооснащать вагоны данной Подсистемой. Мотивация была проста: «...авторы разработки сгущают краски, и таких пожаров у нас не было...». Правда в этом утверждении есть, как и потенциальная угроза безопасности для каждого пассажира. Напомним, что до 15 июля 2014 г. на Московском метрополитене не было и крушений-катастроф электропоездов с массовой гибелью пассажиров.

Остается надеяться, что трагические события прошлого послужат катализатором для принятия должных управленческих решений в настоящем.

ОЦЕНКА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

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

Методика расчета

В настоящее время в метрополитены России начинает поступать современный подвижной состав с асинхронным тяговым приводом. Мощность новых составов, тяговые и токовые характеристики существенно отличаются от привычных вагонов с двигателями постоянного тока. Мгновенные значения тяговых токов новых вагонов значительно выше, чем у старых. Внедрение новых вагонов требует, в ряде случаев, реконструкции системы тягового энергоснабжения. В статье приводится сравнительный анализ расходов электроэнергии на тягу поездов, учет возможностей рекуперации энергии и разработка метода расчета мощности тяговых подстанций. Все расчеты велись для вагонов серий 81-717/714 и вагонов «Нева» с асинхронным тяговым приводом фирмы «Шкода».

Расчет расхода энергии на движение поезда

Для определения расхода энергии на тягу поезда предполагается, что кинетическая энергия, полученная поездом при пуске, расходуется на следующее:

- преодоление сил сопротивления движению;
- изменение потенциальной энергии из-за разных высотных отметок станций;
- нагрев тормозных реостатов и колодок при служебном торможении;
- потери в пусковых реостатах при реостатном пуске поезда с двигателями постоянного тока;
- потери на подтормаживание на так называемых «вредных» спусках, где поезд вынужденно использует торможение для удержания скорости в заданных ограничениях.

Основное сопротивление движению приближенно можно считать пропорциональным квадрату скорости. В этом случае расход энергии на преодоление сил сопротивления при движении по перегону можно считать следующим образом:

$$A_w = mLw(V_{ср.пв}),$$

где L – длина перегона;

$w(V_{ср.пв})$ – основное сопротивление движению при среднеквадратичной скорости на перегоне;

m – масса поезда.

Изменение потенциальной энергии поезда:

$$A_{\Delta h} = mg\Delta h,$$

где g – ускорение свободного падения;

Δh – разность глубин заложения станций.

Безвозвратные потери в тормозных реостатах:

$$A_r = m \frac{V_{HT}^2}{2},$$

где V_{HT} – скорость начала торможения.

Потери в пусковых реостатах. Из теории электрической тяги известно, что при двухступенчатом пуске, который применяется в тяговом приводе вагонов метрополитена с коллекторными двигателями, потери в реостатах составляют половину расхода энергии на разгон поезда до выхода на автоматическую характеристику:

$$A_r = 0,5 \frac{mV_{асм}^2}{2} = \frac{mV_{асм}^2}{4},$$

где $V_{асм}$ – скорость выхода на автоматическую (безреостатную) позицию.

Если на перегоне имеется хотя бы один спуск с уклоном более 20 тыс. и перепад высот от станции отправления до самой нижней точки перегона больше 10 м, предполагается наличие «вредного» спуска, и для учета потерь в тормозах вводится поправка:

$$\Delta h_T = \Delta h_B - 10,$$

где Δh_B – разность отметок между станцией отправления и самой нижней точкой перегона в м.

Общий расход энергии на тягу определяется формулой, которую можно назвать уравнением энергетического баланса:

$$A_w = (A_w + A_{\Delta h} + A_r + A_{\Delta h_T})/\eta_{пр},$$

где $\eta_{пр}$ – КПД тягового привода.

Для вагонов с коллекторными двигателями $\eta_{пр} \approx 0,87$, тягового привода Шкода – $\eta_{пр} \approx 0,82$.

В табл. 1 приведены сравнительные результаты расчетов расхода энергии по предлагаемому методу энергетического баланса и традиционного тягового расчета. Некоторые отклонения результатов объясняются сложностью определения среднеквадратичной скорости. Все расчеты делались для одного вагона шестивагонного состава.

Данные табл. 1 доказывают достаточно высокую точность уравнения энергетического баланса по сравнению с традиционными тяговыми расчетами. Различия в значениях расходов энергии объясняются дискретностью тягового расчета, особенно при кратковременных пусках и достаточно грубым определением среднеквадратичной скорости на перегоне.

Эффективность рекуперации

Современный подвижной состав имеет режим рекуперативного торможения, при котором накопленная кинетическая энергия возвращается в тяговую сеть. Современные тяговые подстанции не имеют средств утилизации энергии рекуперации, возвращенная в тяговую сеть энергия может быть использована поездами, двигающимися в режиме тяги, как по той же фидерной зоне, что и рекуперировавший поезд, так и по соседним фидерным зонам. Очевидно, передача энергии в контактную сеть приводит к повышению напряжения на токоприемнике поезда, отдающего энергию. Если потребителя энергии нет, напряжение резко повышается и поезд переходит в режим реостатного торможения. Очевидно, что эффективность рекуперации сильно зависит от количества поездов на соседних фидерных зонах. Учитывать возврат энергии в сеть при выполнении единичного тягового расчета не имеет смысла. При расчете расхода энергии отдельно взятым поездом можно оценить максимальную возможную рекуперированную энергию. Так как потоки энергии зависят от расположения поездов не только на той же фидерной зоне, но и на нескольких соседних, необходимо учесть потери энергии в контактной сети. Большинство математических моделей косвенно учитывают потери в контактной сети, выполняя тяговые расчеты при напряжении на токоприемниках ниже, чем напряжение на шинах подстанции. Для метрополитена усредненные потери в режиме тяги составляют примерно 10 %. Можно сказать, что в режиме тяги КПД контактной сети $\eta_{к.тяг} = 0,9$.

В режиме тяги ток поезда обеспечивается, главным образом, токами фидеров, питающими фидерную зону, на которой находится поезд. При рекуперации иначе, ток рекуперации потребляется поездами, находящимися на соседних фидерных зонах. Это означает, что длина участков контактной сети, по которым проходит ток рекуперации, больше участков прохождения тягового тока. Можно предположить (достаточно условно), что КПД контактной сети $\eta_{к.рек}$ в режиме рекуперативного торможения окажется в 1,5–2 раза ниже. Более точное значение потерь определится моделированием работы участка контактной сети с движущимися поездами в режимах тяги и рекуперативного торможения. Без учета рекуперации, с учетом потерь в контактной сети, тяговая подстанция передает одному поезду энергию, которая определяется формулой:

Таблица 1

Сравнение расхода энергии по предлагаемому методу энергетического баланса и традиционного тягового расчета

L, м	V _{ср.кв} , км/ч	Δh, м	V _{нт} , км/ч	A _в , кВт	A _{Δh} , кВт	A _т , кВт	A _г , кВт	кпд	A, кВт	A _{тр} , кВт	ΔA, %
2032	77	-7,40	59	2,43	-0,88	1,62	0,24	0,87	3,93	4,01	2,0
1607	70	-2,49	41	1,39	-0,29	0,78	0,24	0,87	2,43	2,47	1,6
2070	78	7,63	60	2,48	0,90	1,68	0,24	0,87	6,09	6,49	6,1
1596	70	2,49	44	1,64	0,29	0,90	0,24	0,87	3,53	3,58	1,3
1534	70	2,67	47	1,57	0,32	1,03	0,24	0,87	3,63	3,56	-1,9
1852	78	-1,36	59	2,22	-0,16	1,62	0,24	0,87	4,50	4,73	4,8

Таблица 2

Сравнение расхода энергии по предлагаемому методу для поездов с коллекторными двигателями и поездов с асинхронным тяговым приводом «Нева»

Тип вагона	m, т	V _{ср.кв} , км/ч	V _{нт} , км/ч	A _в , кВт	A _т , кВт	A _г , кВт	η _{тр}	η _к	η _{к.рек}	A _п -A _{рек} , кВт	ΔA, %
81-717/714	43,5	77	50	1,42	1,17	0,24	0,87	0,9		3,60	
«Нева»	39	77	50	1,42	1,04	0,00	0,82	0,9		3,33	7,4
«Нева» с учетом рекуперации	39	77	50	1,42	1,04	0,00	0,82	0,9	0,8	2,65	21,5

$$A_{п} = A / \eta_{к.тяг} = (A_{в} + A_{\Delta h} + A_{т} + A_{г}) / (\eta_{пр} \eta_{к.тяг})$$

Кинетическая энергия поезда в начале торможения A_{нт}:

$$A_{нт} = m V_{нт}^2 / 2$$

Энергия рекуперации, которая может быть передана поездам на соседних фидерных зонах, определится формулой:

$$A_{рек} = A_{нт} \eta_{к.рек} \eta_{рек} =$$

$$m \frac{V_{нт}^2}{2} \eta_{к.рек} \eta_{рек}$$

Для количественной оценки энергетической эффективности использования вагонов с асинхронным приводом по сравнению с вагонами с традиционными коллекторными двигателями, а также оценки максимально возможного эффекта рекуперации для поезда с асинхронным приводом рассматривается условный перегон длиной 2000 м без перепада высот.

Приведенные в табл. 2 расчеты расхода энергии без учета рекуперации качественно подтверждаются расчетами на математической модели одной из линий Санкт-Петербургского метрополитена, используемой Ленметрогипротрансом. Математическая модель учитывает рекуперацию, если на соседних фидерных есть поезда, которые потребляют энергию в данный момент времени. Если потребителей нет, ближайшие тяго-

вые подстанции «запираются», и поезд переходит в режим реостатного торможения.

Статистика эффективности рекуперации в реальных условиях пока не накоплена, но расчеты на математической модели показывают от 2–3 % при интенсивности движения 20 пар поездов в час до 12–15 % при интенсивности 40 пар поездов в час. Выполненные расчеты показывают возможные параметры экономии энергии при рекуперативном торможении и эффективность разработки решений по использованию или накоплению энергии рекуперации.

Расчет расхода энергии и мощности подстанций

Основные расчетные положения

Системы тягового энергоснабжения линии отечественного метрополитена отличаются некоторыми особенностями, в частности низким напряжением контактной сети при высокой плотности движения мощных поездов. Как следствие, тяговые подстанции расположены часто, на каждой станции. В энергоснабжении поезда всегда участвуют несколько ближайших тяговых подстанций. Для оценки мощности тяговых подстанций с помощью уравнений энергетического баланса можно сделать некоторые допущения:

- 70 % накопления кинетической энергии поездом при разгоне обеспечивается под-

станцией на стороне станции отправления, 30 % обеспечивается подстанцией на станции прибытия. Аналогично распределяются потери в пусковых реостатах;

- энергия на преодоление сопротивления движению и изменение потенциальной энергии поезда распределяется равномерно между двумя подстанциями. Влияние поездов, движущихся по фидерным зонам, не примыкающим непосредственно к расчетной подстанции, не учитывается;

- потери энергии на подтормаживание на вредных спусках распределяются равномерно между двумя подстанциями;

- для всех перегонов скорость начала торможения и среднеквадратичная скорость принимаются одинаковыми.

Рассмотрим движение двух поездов по фидерным зонам I и II путей перед расчетной подстанцией. Расход энергии подстанции на пуск одного поезда:

$$A_{п} = A / \eta_{к.тяг} = (A_{в} / 2 + A_{\Delta h} / 2 + A_{г} * 0,7 + A_{т} * 0,7) / (\eta_{пр} \eta_{к.тяг})$$

Для двух встречных поездов (A_{Δh} сократятся):

$$A_{п2} = (A_{в} + A_{т} + A_{г}) / (\eta_{пр} \eta_{к.тяг})$$

Для всех четырех поездов, получающих энергию на тягу от расчетной подстанции:

$$A_{п4} = m ((L_{n-1} + L_n) w (V_{ср.кв}) + V_{нт}^2 + V_{авт}^2 / 2) / (\eta_{пр} \eta_{к.тяг})$$

Таблица 3

Сравнительные данные расчетов нагрузок тяговых подстанций

Длина перегона, м	$\Delta h_{тр}$, м	A_w , кВт	A_t	$A_{\Delta h_t}$	$\eta_{пр}$	$\eta_{кст.тяга}$	$A_{общ}$	$I_{ср}$, А	$I_{ср.тяг.расч}$, А	ΔI , %
300										
		4,98	2,12	1,19	0,82	0,9	10,10	3590	3683	2,5
3572	60									
		6,26	2,12	1,38	0,82	0,9	11,90	4230	4110	-2,9
2175	10									
		4,67	2,12	0,20	0,82	0,9	8,52	3029	2819	-7,4
2116										
		4,90	2,12	0,30	0,82	0,9	8,92	3172	3477	8,7
2388	15									
		6,30	2,12	0,30	0,82	0,9	10,62	3777	3594	-5,1
3397										
		5,72	2,12	0	0,82	0,9	9,55	3396	3043	-11,6
1853	0									
		3,77	2,12	0	0,82	0,9	7,17	2550	3136	18,6
1605	0									
		5,29	2,12	0,79	0,82	0,9	9,99	3553	3103	-14,5
3252	40									
		5,91	2,12	0,79	0,82	0,9	10,75	3821	3867	1,2
2172										
		5,89	2,12	0	0,82	0,9	9,77	3473	3304	-5,1
3241										
Суммарный средний ток линии								34595	34136	-1,3

В реальных расчетах дополнительно необходимо проверять наличие «вредных» спусков. Для поездов с безреостатным пуском $V_{внт} = 0$.

Сравнение результатов расчета нагрузок тяговых подстанций предлагаемым и традиционным методами

Для оценки достоверности метода выполнены расчеты нагрузок тяговых подстанций одной из линий Санкт-Петербургского метрополитена традиционным методом составления графика движения поездов на основе тяговых расчетов и методом энергетического баланса. Чтобы выявить погрешности расчетного метода, выбрана линия, имеющая большое количество подъемов и вредных спусков и большие расстояния между станциями. Результаты сведены в табл. 3.

Расчеты выполнялись для шестивагонного состава «Нева». Расчетная парность – 44 пары поездов в час, $V_{ср.в}$ = 70 км/ч, $V_{внт}$ = 50 км/ч, расходы энергии даны для одного вагона шестивагонного состава. Сравнение производилось по средним токам подстанций, как величинам, наиболее привычным для проектировщиков.

Анализ полученных результатов позволил выявить ряд закономерностей:

- расходы электроэнергии на тягу поездов на линии метрополитена, рассчитанные двумя методами, совпадают с очень высокой точностью, погрешность составляет примерно 1,3 %;

- для отдельных подстанций отклонения расчетных нагрузок могут достигать больших значений (18 %). Это означает, что для примыкающих к расчетной подстанции перегонов нарушены допущения основных расчетных положений. Анализ расчетных режимов ведения поездов по этим перегонам позволил установить причины таких отклонений – неправильный выбор режима ведения поезда. Две основные ошибки – разгон до высокой скорости на затяжном спуске с последующим подтормаживанием, а также запоздалое второе включение тяги на подъеме перед станцией прибытия. Такие режимы приводят к увеличению времени хода поезда и некоторому увеличению расхода энергии;

- корректировка режимов ведения приводит к погрешности, не превышающей 5 %.

Выводы

- Предложенный метод расчета расхода энергии на тягу поездов имеет высокую точность. Погрешность по сравнению с традиционными тяговыми расчетами не превышает 5 %.

- Выполненные по предложенному методу расчеты показали эффективность использования вагонов с асинхронным приводом. Снижение расхода энергии составляет, ориентировочно, 7–7,5 %.

- Применение рекуперации позволяет дополнительно сократить расходы энергии на тягу поездов на 20–25 %. Отсутствие устройств приема энергии рекуперации на тяго-

вых подстанциях снижает возможную экономию. Для расчетов реальной экономии энергии за счет рекуперации и потребления избытков поездами соседних фидерных зон необходимо выполнять расчеты на традиционных математических моделях, модифицированных с учетом тормозных характеристик вагонов при рекуперативном торможении.

Предложенный метод позволяет оценить возможности использования энергии рекуперации и необходимость применения современных способов аккумулирования избыточной энергии или ее возвращения в сеть. Такие решения требуют дополнительных исследований.

- Можно рекомендовать метод энергетического баланса при проектировании новых и реконструкции старых линий метрополитена при подготовке технических условий на подключение тяговых подстанций к внешнему энергоснабжению, а также предварительному выбору оборудования тяговых подстанций.

- Для точных расчетов нагрузок фидеров и подстанций, максимальных и эффективных значений токов, а также уровней напряжения в контактной сети необходимо использование традиционных методов, основанных на моделировании графиков движения поездов на основе тяговых расчетов. При этом желательно сравнение мощностей подстанций, полученных методом энергетического баланса и традиционным методом, что позволит выявить неблагоприятные проектные режимы ведения и, как следствие, повысить достоверность расчетов.

Компания **CONDAT**, имеющая 15-летний опыт в области тоннелестроения и работ, связанных с укреплением грунтов, всегда играла активную роль в разработке специализированных продуктов для этой отрасли. Компанией разработан полный спектр продукции, соответствующей различным типам грунтов и применяемого оборудования, а также отвечающей требованиям экологии и безопасности.

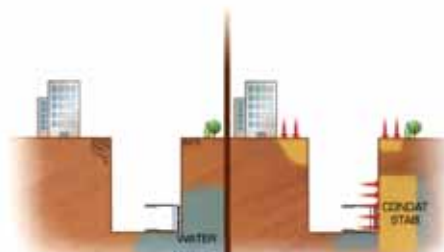
Продукция **CONDAT Stab** была разработана для решения задач укрепления грунта и водонепроницаемости при строительстве подземных сооружений и других видов подземных работ.

Компания **CONDAT** предлагает ускорители схватывания для растворов на силикатной основе, используемых для укрепления грунта путем нагнетания. Благодаря их высокой проникающей способности можно достичь максимального заполнения пустот и трещин в грунте, а следовательно, и максимальной водонепроницаемости. Нагнетание раствора в проницаемый грунт позволяет:

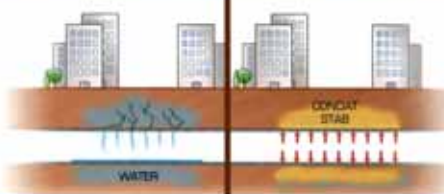
- повысить его механическую прочность;
- уменьшить проницаемость.

Области применения CONDAT Stab

Укрепление стен стартовых котлованов при запуске тоннелепроходческих комплексов



Ремонт существующих подземных коммуникаций в случае их повреждения



Ремонт и укрепление фундаментов



Водонепроницаемость и герметизация подземных сооружений



Укрепление насыпей



Работа тоннелепроходческого комплекса в предельно тяжелых условиях



Официальный представитель фирмы Condat Lubrifiants в России

ООО «ТА Инжиниринг Инт.»

107078, Москва, ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3

тел.: (495) 724-7481

тел./факс: (495) 981-8071

реклама

ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СКОРОСТНОЙ ПРОХОДКИ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. Лунев, главный инженер СМУ-161 ОАО «Трансинжстрой»

С. В. Самарский, главный механик СМУ-161 ОАО «Трансинжстрой»

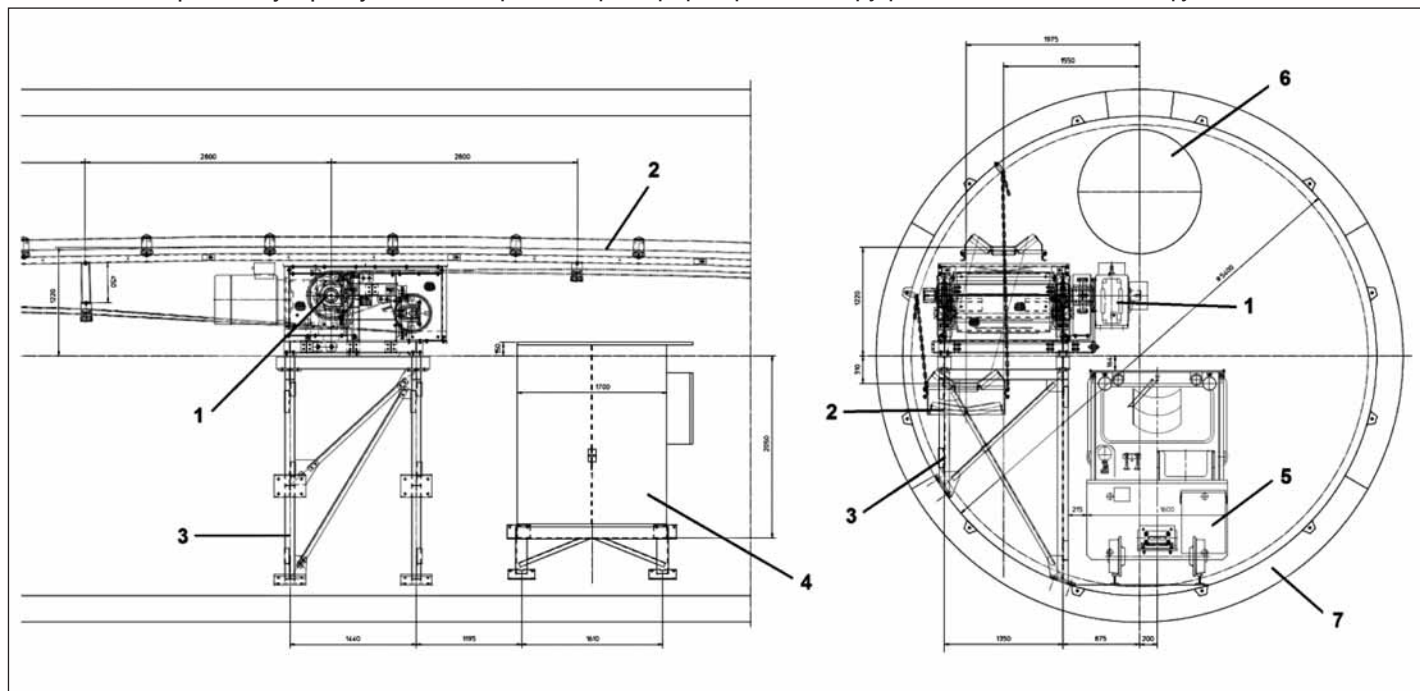
Глобальные масштабы и объемы в плане развития столичного метрополитена, определенные правительством Москвы на ближайшие годы, не позволят повысить темпы строительства без внедрения нового оборудования и применения новых технологий при сооружении тоннелей. При этом приходится решать новые технические задачи для обеспечения экономичности строительства объектов. Необходимость использования передового отечественного и зарубежного оборудования выходит на первый план.

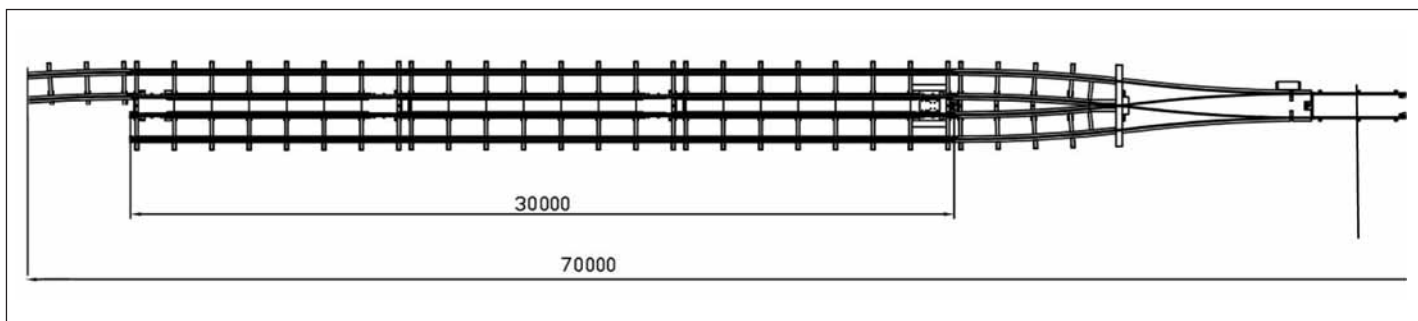
Как правило, длина перегонных тоннелей, сооружаемых с применением ТПМК в Москве, не превышает 2,5–3 км. ОАО «Трансинжстрой» впервые пришлось решать проблему проходки тоннелей протяженностью 4,8 км. При сооружении тоннелей тоннелепроходческим механизированным комплексом ОАО «Трансинжстрой» применяет ленточную конвейерную систему для выдачи грунта на поверхность по тоннелю. Иногда возникают критические величины и нагрузки на конвейерную ленту из-за большой протяженности, что может привести к разрыву транспортной ленты и



Бустерная установка в тоннеле

Схематичное изображение бустерной установки: 1 – привод; 2 – транспортёр; 3 – рама; 4 – шкаф управления; 5 – дизелевоз; 6 – вентрукав; 7 – обделка





Разминовка со стрелочным переводом

другим поломкам, а как мы знаем, безотказность оборудования это главный критерий, обеспечивающий темпы строительства. При строительстве участка Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена от станции «Парк Победы» до станции «Ломоносовский проспект» длиной 4,8 км, нами были внедрены так называемые бустерные установки (дополнительные приводы) тоннельного транспортера. Оптимальное количество приводов на конвейере определяется расчетом. При выборе оптимального количества приводов целесообразным является использование меньшего числа приводов повышенной мощности. Использование прямолинейных промежуточных приводов в цепных конвейерах со сложной конфигурацией трассы позволяет обеспечить наиболее оптимальное их расположение на всей протяженности тоннеля. Главный привод конвейерной системы натяжной станции позволяет добавить дополнительный или вспомогательный привод на конкретном участке конвейерной системы, что дает возможность добавить мощность в систему при достижении расчетной длины конвейера. Это дает возможность уменьшить усилие натяжения ленты. На непрямолинейных в плане и профиле участках трассы очень важно поддерживать оптимальное натяжение ленты, чтобы она могла следовать кривым. Бустерные приводы обеспечивают оптимальное усилие натяжения ленты, поддерживая максимальную производительность конвейера. В тоннеле длиной до 4,8 км нами установлены дополнительные приводы в монтажной камере мощностью 160 кВт (портальная часть) и через 2 км в тоннеле, на грузовую сторону ленты 160 кВт и холостую ветвь ленты 90 кВт (промежуточные приводы). При необходимости, есть возможность установить нескольких приводов, что позволяет снизить максимальное натяжение гибкого тягового элемента (ленты), т. е. использовать транспортную ленту меньшей прочности. Многоприводные конвейеры могут иметь весьма большую длину при правильно выбранной расчетной системе приводов. При проходке на большие расстояния использование дополнительного привода на околопортальном участке дает возможность увеличить критический угол излома конвейерной ленты. Кроме того, бустерные установки играют роль успоко-



Дизелевозы в разминовке

теля конвейерной ленты при наличии большого количества кривых.

Опыт применения дополнительных приводов позволяет не снижать скорость проходки при увеличении плеча откатки, снять часть нагрузки с основной натяжной станции (главного привода), отказаться от дорогостоящего и продолжительного по времени перемонтажа натяжной станции, сэкономив время проходки перегонного тоннеля.

Краткая характеристика установки: главный привод натяжной станции мощностью 160 кВт, привод портального бустера мощностью 160 кВт, привод тоннельного бустера верхний мощностью 160 кВт, нижний мощностью 90 кВт. Ширина ленты 650 мм, скорость 3,5 м/с, производительность конвейера 350 т/ч.

Также немаловажную роль в увеличении скорости проходки на протяженном участке трассы играет своевременность доставки материалов в забой рельсовым транспортом. Как правило, при большом расстоянии ТПМК от монтажной камеры время проходки на кольцо заканчивается, а обделка не доставлена к месту монтажа. Во избежание простоев, ОАО «Трансинжстрой» был применен экспериментальный участок разминовки подвижного состава в тоннеле на втором километре от монтажной камеры, что позволило двум дизелевозам разъезжаться в тоннеле. При этом были исключены простои проходческого комплекса, связан-



Разминовка в тоннеле

ные с увеличением времени доставки материалов из-за длинного плеча откатки (до 4,8 км). Подложка или основание выполнено из металлических балок на всем протяжении разминовки. Для ее монтажа необходимо около 100 м прямого участка тоннеля, в связи со стесненными условиями (внутренний диаметр тоннеля 5,6 м) и рельсовое звено (рельс Р-33) колеи 900 мм.



ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА НАДЕЖНОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

О. Н. Исаев, Р. Ф. Шарафутдинов, ОАО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н. М. Герсеева, Москва

Интенсивное освоение подземного пространства городов и мегаполисов, как правило, ведется в условиях плотной городской застройки с разветвленной сетью подземных инженерных коммуникаций (далее – ПК). В этих условиях особенно актуальным становится вопрос обеспечения сохранности существующих ПК. В последние годы в НИИОСП им. Н. М. Герсеева разработан ряд нормативных документов, закрывающих часть белых пятен в нормативной базе, затрагивающей вопросы обеспечения надежности существующих ПК при подземном строительстве [1, 2, 3].

Система «строящийся объект – грунтовый массив – окружающая застройка»

Вновь строящийся объект, близрасположенные здания, сооружения и ПК представляют собой единую систему, компоненты которой способны влиять друг на друга через грунтовый массив (рис. 1). Повреждения ПК часто имеют два уровня негативных последствий. Первый уровень – повреждения или разрыв непосредственно ПК, второй уровень – повреждения и аварии на строящихся и существующих зданиях и сооружениях в результате утечек и прорывов воды из поврежденных ПК, сопровождаемые техногенным подтоплением, суффозионным выносом и ухудшением строительных свойств грунтов. Аварии, произошедшие в Москве, показывают, что при устройстве котлованов повреждение подземных водонесущих коммуникаций (особенно напорных водопроводов) является своеобразным катализатором развития аварийных ситуаций (рис. 2).

Виды подземных коммуникаций

Существующие ПК отличаются большим разнообразием. Они могут классифицироваться:

- по назначению (водопроводы, газопроводы, кабели, канализации, коллекторы, нефтепроводы, нефтепродуктопроводы, теплотрассы и др.);
- принципу транспортирования жидкостей и газов (самотечные, напорные);
- материалу (из стали, железобетона, чугуна, полимера, керамики и др.);
- типу стыков секций (равнопрочные, неравнопрочные);
- способу защиты (в грунте, в коллекторе, канале, оеке, футляре и др.);
- по проходимости (проходные, полупроходные, непроходные).

Оценка влияния подземного строительства на ПК

Оценка влияния выполняется на существующие ПК, расположенные в пределах предварительно назначаемой зоны влияния. При прокладке новых подземных коммуникаций для предварительной оценки размер зоны влияния допускается принимать равным:

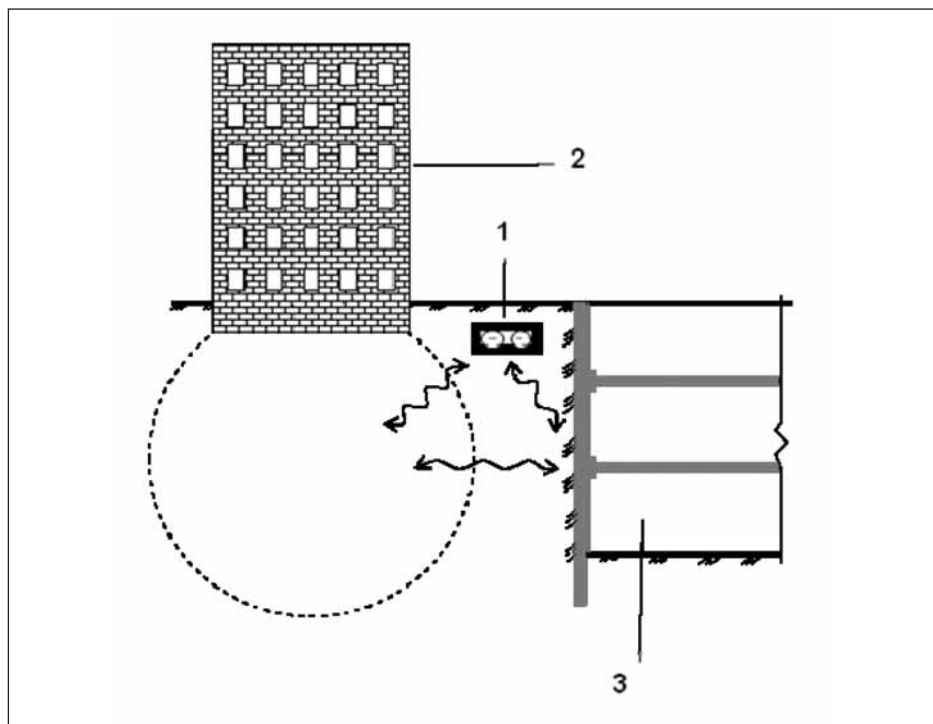


Рис. 1. Схема взаимного влияния строящегося объекта (2), существующих ПК (1) и здания (3)

- $1,5H_0$ – при проходке закрытых выработок, где H_0 – глубина заложения оси закрытой выработки;
- $2H_s$ и $3H_s$ – при проходке локальных открытых выработок (котлованов и шахтных стволов) с использованием ограждений соответственно из железобетонных или стальных конструкций, где H_s – глубина заложения дна открытой выработки;
- $3H_s$ и $4H_s$ – при проходке протяженных открытых выработок (траншей) с использованием ограждений соответственно из железобетонных или стальных (деревянных конструкций, а также траншей с откосами) конструкций.

Оценка влияния строительства, как правило, состоит из расчетного и экспертно-аналитического блоков.

Расчетный блок включает следующие этапы:

- сбор информации об инженерно-геологических условиях участка; существующих ПК, расположенных в предварительно назначенной зоне влияния;

- выявление основных (эксплуатационных) и дополнительных (вызванных строительными работами) нагрузок и воздействий на ПК;
- выбор нагрузок и воздействий, подлежащих моделированию;
- выбор предельных состояний ПК, требующих проверочных расчетов;
- принятие решения о включении ПК или их отдельных конструкций в модель;
- принятие решения о выполнении расчетов в плоской или пространственной постановке;
- выбор программного комплекса для численных расчетов;
- выбор конструктивных элементов ПК (если моделируется) и проектируемого объекта, подлежащих моделированию;
- выбор (определение) границ расчетной области;
- построение геометрической модели и сетки конечных элементов;
- составление общей модели объекта, охватывающей инженерно-геологические и конструктивные элементы;



Большие горизонтальные деформации конструкции «стена в грунте», откачка подземных вод, поступающих через неплотность в стыке захваток



Деформации и разрыв городского напорного водопровода и водостока



Прорыв водопесчаной смеси в котлован через отверстие на стыке захваток «стены в грунте»

Осадка прилегающего к конструкции «стена в грунте» железобетонного колодца, разрыв примыкающего к нему водопровода



Подтопление проезжей части примыкающей улицы, просачивание воды сквозь стену



Деформация распорной системы, подвижки «стены в грунте», разрыв обвязочных поясов



Рис. 2. Аварии при строительстве многофункциональных комплексов на Ленинградском проспекте (2006 г.) и Трубной площади (2007 г.)

- выбор вида и параметров модели грунта;
- выбор вида контактных элементов и назначение их параметров;
- ввод граничных условий и расчетных характеристик прочности и жесткости элементов;
- выбор этапов строительства, разбивка этапов на расчетные шаги; составление пошаговых расчетных схем;
- выполнение расчетов;
- выбор (расчет) необходимых для проверки по предельным состояниям параметров напряженно-деформированного состояния (либо его изменения) оснований и конструкций ПК.

Конструкции существующих ПК при моделировании могут учитываться двумя способами:

- в одну стадию: с использованием геотехнического программного комплекса рассчитывается трехкомпонентная модель «проектируемый объект – грунтовый массив – существующие ПК»;
- в две стадии: первая стадия – с использованием геотехнического программного комплекса рассчитывается двухкомпонентная модель «проектируемый объект – грунтовый массив», в результате ее решения определяются перемещения грунта, соответствующие положению существующих ПК; вторая ста-

дия – с использованием программного комплекса, предназначенного для анализа работы конструкций, рассчитываются конструкции существующих ПК на заданные перемещения, которые были определены на предыдущей стадии.

Параметры модели объекта

Для предварительной оценки влияния строительства на существующие ПК можно назначать размеры расчетной области и выбирать геомеханическую модель грунта согласно рекомендациям табл. 1.

Расчетные значения прочностных характеристик на контакте «конструкция - грунтовый массив» для нескальных грунтов рекомендуется назначать согласно указаниям п. 9.16 СП 22.13330.2011. При закрытой проходке на контакте «обделка тоннеля – грунтовый массив» следует моделировать прослойку грунта с удельным сцеплением, равным или близким к нулю и пониженным углом внутреннего трения (степень снижения назначается согласно указаниям п. 9.16 СП 22.13330.2011).

Перебор грунта при моделировании закрытой проходки рекомендуется назначать на основе опыта геотехнического мониторинга осадок поверхности земли при проходке выбранного (аналогичного выбран-

ному) в проекте типу проходческого оборудования в схожих инженерно-геологических условиях.

Для предварительной оценки влияния при проходке ТПМК с активным пригрузом забоя в Московском регионе перебор грунта V_L рекомендуется принимать согласно табл. 2.

В результате работ экспертно-аналитического блока следует:

- уточнять границы предварительно назначенных зон влияния проходки открытых и закрытых выработок, а также перечень расположенных в зонах влияния существующих ПК (необходимо для составления программы геотехнического мониторинга);
- определять степень и допустимость влияния строительства на ПК;
- осуществлять выбор и назначать необходимый объем мер защиты ПК, если влияние строительства оказывается недопустимым.

Расчет ПК по предельным состояниям

Существующие ПК могут рассчитываться по двум группам предельных состояний: I – по несущей способности и II – по деформациям. Предельные состояния ПК, требующие поверочных расчетов на конкретном объекте, рекомендуется выбирать согласно табл. 3 с учетом назначения

Таблица 1

Ширина и глубина расчетной области, геомеханические модели грунта при моделировании строительства открытых и закрытых выработок

Тип нагрузок и воздействий	Ширина расчетной области, a , м		Глубина расчетной области, b , м	Геомеханические модели грунта
	Песчаные грунты	Глинистые грунты		
Устройство закрытой выработки	$a \geq 3 H_t$	$a \geq 6 H_t$	$b = 0,5D$	Идеально упруго-пластическая модель с использованием модуля деформации грунта по ветви первичного нагружения
Устройство открытой выработки	$a \geq 3 H_s$	$a \geq 6 H_s$	$b = H_{rs} + 0,5$ при $H_c \leq H_{rs} + 0,5$ $b = H_c$ при $H_c > H_{rs} + 0,5$	- Идеально упруго-пластическая модель с использованием модуля деформации грунта по ветви вторичного нагружения - Упруго-пластическая модель с упрочнением грунта

Примечание:

1. H_c – глубина сжимаемой толщи основания условного ленточного фундамента, подошва которого расположена в уровне низа шахтного ствола (котлована). Ширина фундамента принимается равной ширине шахтного ствола (котлована). Нагрузка по подошве условного фундамента принимается равной весу вынутого из ствола (котлована) грунта. H_c рассчитывается согласно СП 22.13330.2011, при этом используется модуль деформации E_0 по ветви вторичного нагружения.

2. H_{rs} – глубина заложения ограждений шахтного ствола (котлована).

Перебор грунта V_L , %

Грунт, разрабатываемый в забое щита		
песок средний, водонасыщенный	песок мелкий и пылеватый, водонасыщенный	суглинок тугопластичный, глина полутвердая
ТПМК со сборной обделкой при нагнетании тампонажного раствора в заобделочное пространство через отверстия в хвостовой части обложки щита одновременно с его продвижением или ТПМК с прессбетонной обделкой		
5,5	3,5	1,5
ТПМК со сборной обделкой при нагнетании тампонажного раствора в заобделочное пространство после продвижения щита, через отверстия в блоках обделки		
–	5,5	2,5

ПК, принципа транспортирования, материала и характера стыковых соединений. Расчет ПК по предельным состояниям можно не выполнять, если их максимальные дополнительные перемещения не превышают:

- 4 мм – независимо от состояния (кроме аварийного) ПК;

- 10 мм – для ПК (кроме газопроводов), находящихся в удовлетворительном состоянии (при отсутствии данных о состоянии ПК срок ее эксплуатации не должен превышать 20 лет).

Расчеты ПК с защитными конструкциями должны предусматривать, как правило, проверку как защитных конструкций, так и непосредственно трубопроводов.

Меры защиты подземных коммуникаций

Если по результатам оценки влияния эксплуатационная надежность и работоспособность ПК не обеспечена, следует предусмотреть следующие меры защиты:

- объектно-технологические – выполняются в зоне строительства объекта, снижают негативные воздействия от проходческих и других строительных работ; реализуются путем применения особых технологий, технологических режимов, специальной проходческой техники и конструктивно-технологических решений, которые используются в процессе строительства;

- геотехнические – выполняются в грунтовом массиве (основании защищаемого объ-

екта), уменьшают или устраняют (компенсируют) дополнительные деформации оснований и фундаментов; реализуются путем применения геотехнических технологий;

- конструктивные – выполняются на защищаемых объектах, уменьшают чувствительность объектов к деформациям их оснований или уменьшают (устраняют) деформации конструкций объектов.

В процессе выполнения защитных мероприятий, строительных работ и в первое время после их окончания должен выполняться геотехнический мониторинг существующих ПК.

Литература

1. СТО 36554501-008-2007 «Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов». ФГУП «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н. М. Герсеева, Москва. 2007.
2. СТО 36554501-028-2012 «Оценка влияния строительства коммуникационных тоннелей щитовым методом на окружающую застройку». ОАО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н. М. Герсеева, Москва. 2012.
3. Проект СП «Проектирование и строительство подземных коммуникаций закрытым и открытым способами (первая редакция)». ОАО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н. М. Герсеева, Москва. 2014.

Рис. 3. а – расстояние в плане между краем выработки и вертикальной границей расчетной области; b – расстояние по высоте между низом выработки и нижней границей расчетной области; H_s , H_t – глубина заложения низа открытой или закрытой выработки; D – диаметр или поперечный размер тоннеля

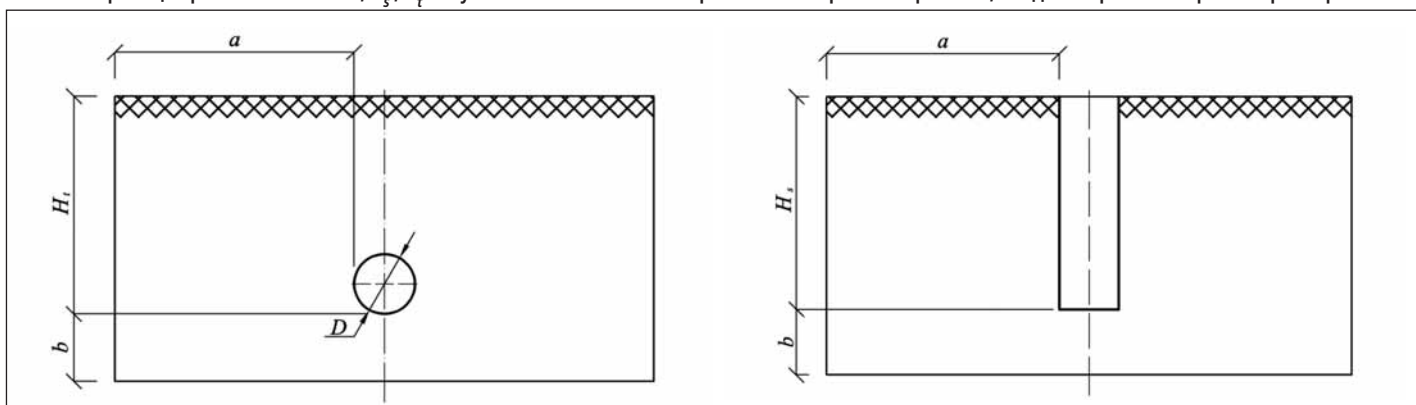


Таблица 3

Выбор предельных состояний ПК

Вид поперечного расчета	Трубопроводы				Коллектора, каналы и другие защитные конструкции со стыками	
	Напорные (теплосеть, напорная канализация, водопровод, газопровод) со стыками		Самотечные (самотечная канализация, дождевая канализация) со стыками			
	равнопрочными	неравнопрочными	равнопрочными	неравнопрочными	равнопрочными	неравнопрочными
	I группа предельных состояний					
(I.1) Проверка прочности продольных сечений сплошных конструкций подземных коммуникаций	из стальных и полиэтиленовых конструкций	–	из стальных и полиэтиленовых конструкций	–	+	–
(I.2) Проверка прочности поперечных сечений жестких конструкций подземных коммуникаций	из бетонных и железобетонных конструкций; при возникновении нагрузок и воздействий, направленных на ПК (строительство здания или сооружения, устройство насыпи над подземной коммуникацией, возникновение горизонтальной нагрузки от домкратов на стенку монтажного котлована при микротоннелировании)					
(I.3) Проверка потери устойчивости положения конструкций подземных коммуникаций в результате потери устойчивости вмещающего их массива грунта	На основание ПК передаются значительные горизонтальные нагрузки. ПК расположены на откосе или склоне					
II группа предельных состояний						
(II.1) Проверка условия самотечности сплошных или сборных конструкций подземных коммуникаций	теплосеть, напорная канализация 2)	–	+	+	–	–
(II.2) Проверка герметичности неравнопрочных стыковых соединений между элементами сборных конструкций подземных коммуникаций	–	+	–	+	–	+
(II.3.а) Проверка образования продольных трещин в сплошных жестких конструкциях подземных коммуникаций (II.4.а) Расчет ширины раскрытия продольных трещин в сплошных жестких конструкциях подземных коммуникаций	из железобетонных конструкций; при возникновении нагрузок и воздействий, направленных на подземные коммуникации (строительство здания или сооружения, устройство насыпи над подземной коммуникацией, возникновение горизонтальной нагрузки от домкратов на стенку монтажного котлована при микротоннелировании)					
(II.3.б) Проверка образования поперечных трещин в сплошных жестких конструкциях подземных коммуникаций (II.4.б) Расчет ширины раскрытия поперечных трещин в сплошных жестких конструкциях подземных коммуникаций	из бетонных и железобетонных конструкций	–	из бетонных и железобетонных конструкций	–	+	–

Примечание:
«–» – проверка не выполняется;
«+» – проверка выполняется.



ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ ЗАКРЫТОГО СПОСОБА РАБОТ

В. А. Гарбер, д-р техн. наук, НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС

Проведение горнопроходческих работ при сооружении станций и перегонных тоннелей метрополитена в зонах городской застройки вызывает смещения горных массивов и связанные с этим деформации земной поверхности. При превышении определенных пределов эти деформации могут привести к повреждению расположенных в зоне строительства зданий и сооружений, а в критических случаях – и к их разрушению.

Проведение прогнозов деформаций, своевременная разработка и реализация охраняемых мероприятий по защите зданий и сооружений позволяют предотвратить аварийные ситуации, вызываемые прокладкой метрополитена, сохранить окружающую зону строительства среду и сэкономить значительные средства.

В настоящее время наблюдения за изменением геомеханического состояния породного массива и деформациями объектов при строительстве подземных сооружений ведутся различными организациями по ведомственным инструкциям, предназначенным для решения иных, как правило, более узких задач. Эти инструкции содержат неодинаковые требования к точности измерений, различные методики проведения наблюдений и обработки их результатов. Такие различия делают практически невозможным сопоставление полученных данных, их обобщение и использование, что также может привести к крупным авариям, особенно в условиях интенсивного строительства подземных сооружений в плотной застроенной зоне города.

Первые методы прогнозирования деформаций городской поверхности при разработке подземного пространства появились еще в XIX веке. Теория нормалей Туайе-Гюно положила начало длинной серии исследований, посвященных прогнозу смещений поверхности при подземных работах и защите сооружений на поверхности. Вот краткий перечень фамилий известных ученых, занимавшихся этой проблемой: Дюмон, Ржика, Файоль, Ичинский, Гудвин, Гауссе, Гольдштейн, О'Донэго, Бриттс, Луис, Райс, Экард, Леонтовский, Слесарев, Бахурин, Авершин, Кузнецов, Литвинишин, Турчинов, Муллер, Фисенко, Земисев, Иофис.

На основе их трудов возникла теория смещения горных пород, сначала полностью эмпирическая, основанная только на наблюдениях, а затем уже включившая в себя на основе математических расчетных моделей дифференциальные уравнения и теории прочности грунтов.

В практике разработки горнорудных месторождений часто применяется методика расчета деформаций поверхности с помощью типовых кривых. В общем случае типовой явля-

ется такая кривая, форма которой соответствует форме эпюры деформаций поверхности в сечении, перпендикулярном оси выработки. Параметры кривой подбираются так, чтобы величины измеренных и вычисленных деформаций были близки. Получил известность метод «равных площадей», в котором предполагается, что площадь эпюры деформаций равна разности площадей выработки и наружного очертания обделки, а ширина зоны оседаний над выработкой зависит от размеров выработки, глубины заложения и угла внутреннего трения налегающего грунта. Данные предпосылки хорошо согласуются с экспериментальными данными по Москве, полученными при проходке тоннелей мелкого заложения. Формы кривых достаточно разнообразны, однако во многих случаях используется функция $EXP(-x \cdot x)$, например, в угледобывающей промышленности Венгрии и Польши.

В мировой практике для прогнозирования деформаций поверхности широко используется метод конечных элементов (МКЭ), который дает возможность учесть разнообразные грунтовые условия, форму и величину выработки, а также технологию ее сооружения. Конечным элементом, моделирующим грунт, придаются свойства упругопластической среды; как правило, принимают, что обделка работает в упругой стадии.

В 1993 г. НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИС разработал «Руководство по оценке и предотвращению аварийных деформаций зданий и сооружений при строительстве объектов метрополитена».

В этом документе впервые изложена методика прогнозирования расчета деформаций земной поверхности при проходке станционных и перегонных тоннелей метрополитена с использованием программ для ЭВМ. В «Руководстве» излагаются два метода прогнозирования: метод типовых кривых (МТК) и метод конечных элементов (МКЭ).

В 1997 г. Госгортехнадзор России утвердил «Инструкцию по наблюдениям за смещениями земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений» (разработчики: ИПКОН РАН, НИИОСП им. Н. М. Герсванова, Мосгоргеотрест).

«Инструкция» регламентирует условия, порядок и методы проведения наблюдений за смещениями земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений, а также способы обработки результатов наблюдений и требования к их оформлению.

В «Инструкции» приведена геомеханическая модель системы «породный массив –

подземное сооружение» в случае возникновения аварийной ситуации при проходке.

Кроме указанных двух документов, известен предложенный профессором Г. А. Гениевым для прогнозирования осадок земной поверхности метод равных площадей.

Начало 2000-х годов ознаменовалось разработкой методов прогнозирования мультисмещения земной поверхности с использованием мощных программных геотехнических комплексов в плоской и пространственной постановке, таких как «PLAXIS»-2D, «PLAXIS»-3D, «FLAC»-3D, «Z-SOIL» и др.

С использованием этих комплексов прогнозировались параметры мультисмещения земной поверхности при строительстве многосвязных подземных сооружений.

Ниже приводятся описания основных положений перечисленных методов прогнозирования осадок земной поверхности при строительстве подземных сооружений различных конфигураций.

Описаны также мероприятия по защите зданий и сооружений, находящихся в зоне строительства подземных объектов.

Методы прогнозирования деформаций земной поверхности при сооружении тоннелей закрытого способа работ

Геотехническая модель ИПКОН РАН

В упомянутой выше «Инструкции по наблюдениям земной поверхности в расположенных на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений» поставлены следующие цели:

- определение абсолютных и относительных величин деформаций и сравнение их с расчетными и допустимыми значениями;
 - выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации объектов;
 - принятие своевременных мер по борьбе с возникающими деформациями или устранению их последствий;
 - уточнение расчетных данных физико-механических характеристик грунтов;
 - уточнение методов расчета и установление допустимых и предельных величин деформаций для различных типов зданий, сооружений и коммуникаций;
 - установление эффективности принимаемых профилактических и защитных мер;
 - уточнение закономерностей процесса смещения горных пород и зависимостей его параметров от основных влияющих факторов.
- «Инструкция» узаконивает следующие основные понятия, термины и определения элементов смещения горных пород, земной поверхности и сооружений.

- Абсолютная величина горизонтального сдвижения земной поверхности (на данный момент времени) – его полная величина, получаемая по отношению к исходным геодезическим знакам, установленным вне зоны влияния подземного сооружения.

- Активизация сдвижения толщ пород и земной поверхности – изменение характера распределения и величин сдвижений и деформаций земной поверхности и грунтовой толщ при строительстве сооружения в зоне влияния ранее пройденных выработок по сравнению со сдвижениями и деформациями от одиночного сооружения, возводимого в ненарушенном горными работами породном массиве.

- Вероятные сдвижения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые на основании недостаточно полной информации о горно-геологических условиях возведения подземного сооружения.

- Вертикальные деформации земной поверхности (наклоны, кривизна) – деформации земной поверхности в вертикальной плоскости, вызванные неравномерностью вертикальных сдвижений.

- Вертикальные перемещения основания фундамента – осадки, происходящие под влиянием горных работ, а также в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственной массы грунта; просадки, происходящие в результате уплотнения под воздействием как внешних нагрузок и собственной массы грунта, так и дополнительно с ними действующих факторов (замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т. п.); набухания и усадки, связанные с изменением объема некоторых видов глинистых грунтов при изменении их влажности, температуры (морозное пучение) или воздействия химических веществ.

- Главные сечения мульды сдвижения – вертикальные сечения мульды вдоль и поперек подземного сооружения, проходящие через точки с максимальными оседаниями земной поверхности.

- Горизонтальные деформации растяжения или сжатия – деформации земной поверхности в горизонтальной плоскости, вызванные неравномерностью горизонтальных сдвижений.

В точках мульды сдвижения различают горизонтальные деформации: в продольном направлении ϵ_x , в поперечном ϵ_y , в направлениях, параллельном продольному ϵ_{x1} , параллельном поперечному ϵ_{y1} и в заданном направлении ϵ_λ .

- Горизонтальное сдвижение земной поверхности (мм) – горизонтальная составляющая вектора сдвижения точки в мульде сдвижения земной поверхности.

В точках мульды различают горизонтальные сдвижения: в продольном направлении ξ_x , в поперечном ξ_y , в направлении, параллельном продольному ξ_{x1} , параллельном поперечному ξ_{y1} и в заданном направлении ξ_λ .

- Граничные углы – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным

сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границу выработки с границей зоны влияния горных работ на земной поверхности.

- Граница зоны влияния подземного сооружения или граница мульды сдвижения – контур зоны на земной поверхности, определяемый по граничным углам или по деформациям: наклона $0,5 \times 10^{-3}$, растяжения $0,5 \times 10^{-3}$, при длинах интервалов 15–20 м.

- Граница зоны опасного влияния подземных горных работ – контур зоны опасного сдвижения земной поверхности, определяемый по углам сдвижения или критическим деформациям.

- График сдвижений и деформаций земной поверхности – линии, изображающие в определенном масштабе распределение величин сдвижений и деформаций земной поверхности на профильной линии.

Различают графики: оседания; горизонтального сдвижения; наклонов мульды сдвижения; горизонтальных деформаций (растяжений, сжатий); кривизны мульды сдвижения; скорости оседания.

- Деформация горной выработки (котлована) – изменение её формы и размеров под действием нагрузок.

- Деформационная марка – геодезический знак, жестко укрепленный на конструкции здания или сооружения (фундаменте, колонне, стене), меняющий свое положение вследствие осадки, просадки, подъема, сдвига, крена или горизонтального перемещения фундамента.

- Длина полумульды – расстояние в главном сечении, на продольном или поперечном разрезе между границей мульды и точкой пересечения с земной поверхностью линии, проведенной под углом полных сдвижений (при полной подработке) или под углом максимального оседания (при неполной подработке). Участок плоского дна при расчете сдвижений и деформаций в длину полумульды не включается.

Различают длины полумульд (м) в продольном направлении L_1 и поперечном L_2 .

- Допустимые деформации земной поверхности (основания сооружений) – деформации, могущие вызвать такие повреждения в сооружениях, при которых для дальнейшей эксплуатации их по прямому назначению достаточно проведения текущих наладочных ремонтных работ.

- Зона опасного влияния подземных горных работ – часть мульды сдвижения, на которой в результате влияния горных работ возникают деформации, опасные для зданий, сооружений и природных объектов.

- Зона трещин и провалов на земной поверхности – часть мульды сдвижения, на которой в результате влияния горных работ возникают трещины и провалы.

- Зона трещин и разломов горных пород – часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся сдвижению в форме прогиба и сдвига с образованием трещин.

- Зона обрушения горных пород – часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся обрушению.

- Зона прогиба – часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся сдвижению в форме прогиба слоев без разрыва их сплошности.

- Крен фундамента – деформация в результате неравномерной осадки, просадки, подъема и т. п., характеризующая разность вертикальных перемещений точек, отнесенных к расстоянию между ними.

- Кривизна мульды сдвижения (размерность 1/м) – отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме длин этих интервалов. Различают кривизну мульды, определенную непосредственно по данным измерений и полученную по сплаженной кривой оседания. В точках мульды различают кривизну: в продольном направлении K_x , в поперечном K_y , в направлении, параллельном продольному K_{x1} , параллельном поперечному K_{y1} и в заданном направлении K_λ .

- Критические деформации земной поверхности – величины деформаций земной поверхности, принятые для определения границ зоны опасного влияния подземных горных работ и углов сдвижения: кривизна $K = 0,2 \times 10^{-3}$, 1/м, наклон $i = 4 \times 10^{-3}$, горизонтальное растяжение $\epsilon = 2 \times 10^{-3}$ при длинах интервалов 15–20 м.

- Максимальные горизонтальные деформации – наибольшие сжатия и растяжения интервалов мульды при закончившемся процессе сдвижения.

В точках мульды различают максимальные сжатия и растяжения: в продольном направлении $\epsilon_{\max, x}$, в поперечном $\epsilon_{\max, y}$, в направлении, параллельном продольному $\epsilon_{\max, x1}$, параллельном поперечному $\epsilon_{\max, y1}$ и в заданном направлении ϵ_λ .

- Максимальное горизонтальное сдвижение (мм) – наибольшая горизонтальная составляющая векторов сдвижения точек при закончившемся процессе сдвижения.

В точках мульды различают максимальные горизонтальные сдвижения: в продольном направлении $\xi_{\max, x}$, в поперечном $\xi_{\max, y}$, в направлении, параллельном продольному $\xi_{\max, x1}$, параллельном поперечному $\xi_{\max, y1}$ и в заданном направлении ξ_λ .

- Максимальная кривизна мульды сдвижения (1/м) – наибольшая кривизна мульды при закончившемся процессе сдвижения.

В точках мульды различают максимальную кривизну: в продольном направлении $K_{\max, x}$, в поперечном $K_{\max, y}$, в направлении, параллельном продольному $K_{\max, x1}$, параллельном поперечному $K_{\max, y1}$ и в заданном направлении $K_{\max, \lambda}$.

- Максимальное оседание (мм) – наибольшая вертикальная составляющая векторов сдвижения точек при закончившемся процессе сдвижения.

Различают максимальные оседания при полной подработке η_0 и при неполной η_m .

- Максимальные наклоны мульды сдвижения – наибольшие наклоны интервалов мульды сдвижения при закончившемся процессе сдвижения.

В точках мульды различают максимальные наклоны: в продольном направлении $i_{\max, x}$, в поперечном $i_{\max, y}$, в направлении, параллель-

ном продольному $i_{\max, x1}$, параллельном поперечному $i_{\max, y2}$ и в заданном направлении $i_{\max, \lambda}$.

- Меры охраны объектов от вредного влияния горных разработок – мероприятия, направленные на уменьшение вредного влияния горных работ на здания, сооружения и природные объекты, в целях устранения причин нарушения нормальной эксплуатации объектов, могущих вызвать несчастные случаи.

- Минимальный радиус кривизны (m) – радиус кривизны в точке сдвижения с максимальной кривизной.

В точках мульды различают минимальные радиусы кривизны: в продольном направлении $R_{\max, x}$, в поперечном $R_{\max, y}$, в направлении, параллельном продольному $R_{\max, x1}$, параллельном поперечному $R_{\max, y1}$ и в заданном направлении $R_{\max, \lambda}$.

- Мульда сдвижения земной поверхности – участок земной поверхности, подвергшийся сдвигению под влиянием горных работ.

- Наблюдательная станция – совокупность реперов, заложенных по определенной системе на земной поверхности, в сооружениях или в подземных выработках с целью проведения наблюдений за сдвижением земной поверхности, сооружений или горных пород в толще. Различают типовые (рядовые и долговременные) и специальные наблюдательные станции.

- Наклоны интервалов в мульде сдвижения – отношение разности оседаний двух соседних точек мульды к расстоянию между ними.

В точках мульды различают наклоны: в продольном направлении i_x , в поперечном i_y , в направлении, параллельном продольному i_{x1} , параллельном поперечному i_{y1} и в заданном направлении i_{λ} .

- Нарушение устойчивости горной выработки, котлована или сооружения – состояние, когда их деформации превосходят допустимые значения, при которых дальнейшая эксплуатация объектов затруднена и может представлять опасность для жизни людей.

- Оседание земной поверхности η (мм) – вертикальная составляющая вектора сдвижения точки в мульде сдвижения земной поверхности.

- Область сдвижения горных пород – часть массива горных пород, подвергшаяся сдвигению под влиянием горных работ.

- Общая продолжительность процесса сдвижения – период, в течение которого земная поверхность под влиянием горных работ находится в состоянии сдвижения. За начало процесса сдвижения точки земной поверхности принимается дата, на которую оседание точки достигает 15 мм. За окончание – дата, после которой суммарные оседания на протяжении шести месяцев не превышают 10 % максимальных, но не более 30 мм.

- Обрушение пород – беспорядочное перемещение разрушенных пород с потерей естественной структуры в результате ведения горных работ.

- Ожидаемые сдвигения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные.

- Относительное максимальное оседание q_0 – отношение величины максимального оседания земной поверхности к величине прогиба кровли подземного сооружения при полной подработке и закончившемся процессе сдвижения.

- Относительное максимальное горизонтальное сдвижение α_0 – отношение максимального горизонтального сдвижения к максимальному оседанию при полной подработке и закончившемся процессе сдвижения.

- Относительные перемещения основания сооружения – перемещения одних частей фундамента сооружения по отношению к другим.

- Параметры сдвижения земной поверхности – величины, характеризующие процесс сдвижения земной поверхности, зависящие от горно-геологических условий строительства подземного сооружения.

К ним относятся:

- относительные максимальные оседания;
- относительные максимальные горизонтальные сдвигения;
- максимальные значения наклонов, кривизны, горизонтальных деформаций, скорости оседания;
- углы сдвижения;
- граничные углы;
- углы разрывов;
- углы полных сдвижений;
- угол максимального оседания;
- общая продолжительность процесса сдвижения и продолжительность периода опасных деформаций.

- Поверхность скольжения – траектория, по которой движутся оползающие породы и разделяющая в условиях предельного равновесия области движения и покоя. Верхнюю (близкую к вертикальной) часть поверхности скольжения, в которой действуют растягивающие напряжения, называют поверхностью отрыва.

- Период опасных деформаций земной поверхности – период интенсивных сдвижений земной поверхности, в течение которого проявляется опасное влияние горных работ на сооружения и природные объекты. К интенсивным сдвигениям относятся сдвигения со скоростью оседания более 30 мм в месяц.

- Предельные деформации земной поверхности (основания сооружений) – деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей.

- Провал – участок земной поверхности, подвергшийся обрушению под влиянием подземных горных работ.

- Радиус кривизны мульды сдвижения (m) – величина, обратная кривизне мульды сдвижения.

В точках мульды различают радиусы кривизны: в продольном направлении R_x , в поперечном R_y , в направлении, параллельном продольному R_{x1} , параллельном поперечному R_{y1} и в заданном направлении R_{λ} .

- Расчетные сдвигения и деформации – величины сдвижений и деформаций, получаемые путем умножения ожидаемых или вероятных сдвижений и деформаций на коэффи-

циенты перегрузки; применяются для разработки мер охраны зданий и сооружений

- Сосредоточенные деформации – деформации (горизонтальные и вертикальные) на небольших (до 5 м) интервалах мульды сдвижения, резко превышающие соответствующие деформации на смежных таких же интервалах; на участках сосредоточенных деформаций обычно возникают трещины, ступени и уступы. При образовании ступени участок у края трещины, расположенный ближе к точке максимального оседания, оседает больше, чем расположенный дальше от этой точки. При образовании уступа – наоборот.

- Расслоение горных пород – последовательное отделение от толщи слоев пород и перемещение их в сторону выработанного пространства без нарушения слоистости.

- Смежные выработки – выработки, имеющие общую границу или разделенные целиком такого размера, при котором происходит активизация сдвижения горных пород и земной поверхности.

- Сдвигение горных пород – перемещение и деформирование массива горных пород в результате нарушения их естественного равновесия при строительстве подземных сооружений.

- Сдвигение земной поверхности – перемещение и деформирование земной поверхности в результате сдвижения массива горных пород при строительстве подземных сооружений.

- Углы сдвижения – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения при полной подработке горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границу выработки с границей зоны опасного влияния на земной поверхности.

- Угол максимального оседания θ (град.) – острый угол, образованный на вертикальном разрезе в главном сечении мульды сдвижения горизонтальной линией и линией, соединяющей середину подземного сооружения с точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности.

- Углы полных сдвижений – внутренние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах (по главным сечениям мульды) основанием подземного сооружения и линиями, соединяющими границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения.

- Углы разрывов – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработки с ближайшими к границам мульды сдвижения трещинами на земной поверхности.

- Устойчивость – способность горных выработок и подземных сооружений сопротивляться силам, вызывающим нарушение равновесия.

В «Инструкции» констатируется следующий подход к геомеханической модели аварийных ситуаций при подземном строительстве.

Прогноз изменения геомеханического состояния породного массива под влиянием горных работ производится как для типовых

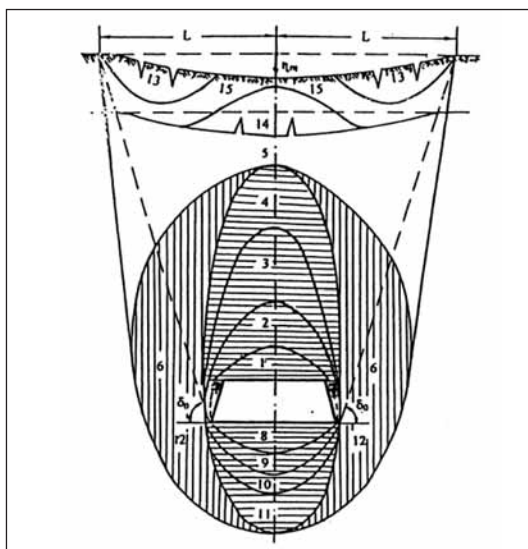


Рис. 1. Схема сдвига горных пород над подземными сооружениями при нарушении их устойчивости: δ_0 – граничный угол

Значения граничных углов δ_0 и углов сдвига δ в зависимости от коэффициентов крепости пород f по М. М. Протодыяконову

Значения коэффициента f		Значения углов, градус	
Среднее	Предел изменения	δ_0	δ
0,1	до 0,3	40	45
0,5	0,3–0,7	45	55
1,0	0,8–1,2	50	60
1,5	1,3–2,0	55	65
2,5	2,1–3,5	60	70
4,0	3,6–4,5	65	75
5,0	4,6–6,0	70	80

условий строительства и эксплуатации подземного сооружения, так и для аварийных ситуаций (разрушение крепи выработок, прорывов в них плывунов, развитие карстовых образований, активизация древних оползней и т. д.). Он состоит из определения ожидаемых параметров развития геомеханических процессов, основными из которых являются:

- размеры и местоположения зон сдвига;
- значения максимальных сдвигов и деформаций;
- характер распределения деформаций в мульд сдвига;
- общая продолжительность процесса сдвига и периода опасных деформаций.

При прогнозе геомеханического состояния следует учитывать, что при аварийных ситуациях в породном массиве может образовываться 15 зон, отличающихся по характеру и степени деформирования пород, а также по последствиям, которые возникают при попадании объектов в эти зоны.

На рис. 1 приведена схема расположения указанных зон при неблагоприятном развитии деформационных процессов в массиве, вмещающем подземные горные выработки и сооружения.

В первой зоне, расположенной непосредственно над выработкой, породы наиболее деформированы и разделены на отдельные куски и мелкие блоки. Она носит название зоны обрушения.

Вторая зона, прилегающая к зоне обрушения, характеризуется развитием в прогибающихся породах нормально секущих трещин и трещин расслоения, разбивающих массив на крупные блоки и образующих систему сквозных водо- и газопроводящих каналов с малым аэро- и гидродинамическим сопротивлением, практически не оказывающими влияния на прохождение по каналам растворов и газов. Эта зона является зоной сквозных трещин.

В третьей зоне секущие трещины и трещины расслоения соединяются между собой по ломаным кривым и создают систему водо- и газо-

проводящих трещин со значительным аэро- и гидродинамическим сопротивлением, которое растет пропорционально удалению их от деформированной выработки. Она носит название зоны активных (фильтрующих) трещин.

В четвертой зоне деформации растяжения, вызванные изгибом пород, достигают критических значений только в отдельных, наиболее слабых слоях, и потому трещины здесь имеют прерывный характер. Поскольку в этой зоне сквозной водо- и газопроводящей системы трещин не образуется, она называется зоной локальных трещин.

Пятая зона, характеризующаяся прогибом пород без разрыва их сплошности, носит название зоны плавного прогиба.

Шестая и седьмая зоны находятся в области повышенного горного давления, при этом в шестой зоне преобладают упругие деформации, в седьмой – неупругие (необратимые).

Шестая зона обычно называется зоной опорного давления, а седьмая – зоной предельно-напряженного состояния. В ней породы проходят все стадии деформирования – от значительного всестороннего сжатия на границе с зоной упругих деформаций до сильного разрыхления вблизи от обнажения, при этом основные необратимые деформации происходят по природным системам трещин, что сопровождается подвижками по поверхностям структурных элементов.

Перечисленные шесть зон находятся в подработанной толще пород, под которой понимается толща пород, расположенная выше горизонтальной плоскости, проведенной через продольную ось выработки. Толща пород, расположенная ниже этой плоскости, называется надработанной. Седьмая зона распространяется как на подработанную, так и на надработанную толщу, но в основном она проявляется в боках выработки. В надработанной толще имеется пять зон (зона обрушения отсутствует), при этом зоны восемь, девять, десять, одиннадцать и двенадцать по своим качественным характеристикам соответствуют зонам два, три,

четыре, пять и шесть подработанной толщи, но все зоны, образующиеся в надработанной толще, расположены ближе (примерно, вдвое) к выработке, чем в подработанной.

В прилегающем к земной поверхности слое (или пачке слоев, деформирующихся как одно целое) в результате изгиба образуются зоны растяжения и зоны сжатия. Зона 13 характеризуется максимальным растяжением у земной поверхности и постепенным затуханием его в глубину слоя. Зона 14, наоборот – максимальным растяжением на нижней границе слоя и постепенным затуханием растяжений по мере приближения их к земной поверхности. В зоне 15 происходит сжатие слоя, при этом характер затухания сжатия здесь аналогичен таковому при растяжении.

В особо неблагоприятных условиях на земной поверхности могут образоваться провалы, террасообразные ступени и трещины.

Внешние границы мульды сдвига на земной поверхности при подземном способе возведения сооружения следует определять по граничным углам, а внешние границы опасной ее части – по углам сдвига. Значения этих углов зависят от свойств горных пород и определяются опытным путем. При отсутствии опытных данных значения граничных углов и углов сдвига определяются по табл. Углы разрывов принимаются на 10° круче углов сдвига при $f < 1,5$ и на 5° круче при $f > 1,5$.

Общая продолжительность процесса сдвига земной поверхности над проводимой подземной выработкой вычисляется из выражения:

$$T_{\text{общ}} = K_T H / c,$$

где c – скорость подвигания забоя выработки, м/мес;

K_T – коэффициент, зависящий от механических свойств, литологических и других особенностей массива горных пород, определяется опытным путем. Его значения колеблются, как правило, в пределах от 1,5 до 2,5;

H – глубина расположения выработки.



(Окончание следует)



СПЕЦИАЛЬНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА



(495) 226-18-37

(342) 219-61-56

info@cct-drill.ru

WWW.CCT-DRILL.RU



FIGARO MASCHINE 400T

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА