

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

Зам. председателя редакционной коллегии

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

Ответственный секретарь

В. В. Внутских

Редакционная коллегия

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

Тоннельная ассоциация России

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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71
127521, Москва,
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,
оф. 420Б
e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2017

№ 5–6 2017

В Тоннельной ассоциации России

Тоннельщики России встретились в Петербурге	2
Тоннелестроители в Академии горных наук Ю. Н. Малышев	4

Строительство метро

Итоги сооружения двухпутного тоннеля Невско-Василеостровской линии Петербургского метрополитена	8
Н. В. Александров, А. Ю. Старков	

Проектирование

Технологические деформации основания существующих зданий при устройстве грунтобетонных элементов	11
С. С. Зуев, О. А. Маковецкий	
Что мешает быстро строить метро	14
В. А. Марков	

Геотехнический мониторинг

Анализ факторов, влияющих на сходимость результатов геотехнических расчётов с данными мониторинга	16
Д. С. Конюхов, С. А. Казаченко	
Система автоматизированного мониторинга сооружений с использованием датчиков гидростатического нивелирования «Монитрон-ДГН-2»	22
С. П. Буюкян, Г. М. Медведев, А. Н. Симутин	

Новое оборудование

Инновационный способ пеногенерации от компании «МС Bauchemie»	24
С. Ф. Андреев	

Метрополитены

Традиционный и скоростной мобильный метрополитен. Что строить в XXI веке?	27
В. А. Мнацаканов	

Вентиляция

Системы автоматического управления вентиляционными агрегатами метрополитенов	32
Л. Н. Тетиор, И. М. Дауров	

Развитие транспорта

Транспорт Москвы к Чемпионату мира по футболу ЧМ-2018	34
Е. В. Щекудов	

Освоение подземного пространства

Обеспечение охраны окружающей среды и экологической безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений Петербургского метро- политена в рамках экосистемного подхода к изучению природно-технических систем	37
Е. Г. Козин, Ю. А. Филиппова	

Щитовая проходка

Повышение показателей тоннелепроходческих работ с активным пригрузом забоя на механизированных комплексах для метростроения	43
Дж. Роби, Д. Уиллис	

Книжная полка

Об инженерно-геологических исследованиях при тоннельном строительстве	50
С. В. Мазин	

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Строительство
двухпутного тоннеля
к ст. «Юго-Восточная»
(Москва, 2017 г.)

ТОННЕЛЬЩИКИ РОССИИ ВСТРЕТИЛИСЬ В ПЕТЕРБУРГЕ



Участники форума на стадионе «Зенит-Арена»

5–6 октября 2017 г. в Санкт-Петербурге прошел форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства в России», традиционно собирающий ведущих специалистов в области подземного строительства из различных регионов страны.

Мероприятие было организовано Общероссийской общественной организацией «Тоннельная ассоциация России» (ТАР) совместно с ОАО «Метрострой» – петербургской строительной компанией, реализующей проекты метростроения и комплексного освоения подземного пространства на территории Санкт-Петербурга и за его пределами.

Модераторами форума выступили признанные эксперты в области проектирования и строительства подземных сооружений: научный руководитель ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» Валерий Меркин, директор филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены» Евгений Щекудов, советник генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» Николай

Кулагин. Участие в работе форума принял председатель правления Тоннельной ассоциации России, первый заместитель генерального директора АО «Мосинжпроект» Константин Матвеев.

Как отметил специальный представитель губернатора Санкт-Петербурга по метростроению Вадим Александров, сегодня руководство Северной столицы уделяет большое внимание вопросам комплексного освоения подземного пространства, понимает необходимость формирования комфортной и безопасной городской среды на основе развития подземной транспортной инфраструктуры. Он отметил, что губернатор Георгий Полтавченко с глубоким одобрением отнесся к проведению форума и попросил пожелать его участникам плодотворной работы.

С обращением от имени вице-губернатора Санкт-Петербурга Игоря Албина выступил начальник сектора проектирования и строительства метрополитенов Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Михаил Самборский. Он подчеркнул, что освоение подземного пространства является одним из перспективных направлений комплексного развития крупных городов мира, а его значение для Санкт-Петербурга, обладающего большой культурно-исторической ценностью городской застройки и сложными инженерно-геологическими условиями, невозможно переоценить.

Главной темой докладов и дискуссий на форуме стали вопросы, связанные с решением серьезных инженерных проблем подземного строительства при реализации масштабных проектов развития транспортной

Выступление советника губернатора Санкт-Петербурга с приветствием к участникам форума





Награждение победителей конкурса



Посещение новой строящейся станции метро «Новокрестовская»

инфраструктуры крупных городов России в преддверии Чемпионата мира (ЧМ-2018) по футболу.

Своим опытом проектирования и строительства метрополитена и других подземных объектов в условиях плотной городской застройки поделились представители АО «Мосинжпроект», ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», ОАО «Метрострой», ООО «Херренкнехттоннельсервис».

Уникальные материалы для гидроизоляции подземных сооружений презентовали специалисты турецкой компании «Сечиль Каучук». О возможностях современных материалов для обеспечения комфортного пребывания людей в подземном пространстве проинформировал представитель ООО «Баутрейд».

Подводя итоги заседания, участники форума единодушно отметили полезность и продуктивность подобных встреч специалистов и выразили пожелания, чтобы обмен мнениями в ходе проведения таких мероприятий способствовал совершенствованию законодательной и нормативной базы подземного строительства. Особая озабоченность была высказана по поводу несовершенства законодательной базы, регулирующей порядок подготовки и согласования проектной документации. Существующий порядок проектирования и согласования проектов строительства метрополитенов не способствует развитию комплексного подхода к освоению подземного пространства и ведет к необоснованному затягиванию сроков получения требуемых согласований проектов метростроения. Свои замечания и предложения по этим вопросам участники форума решили подготовить и направить в Исполнительную дирекцию Тоннельной ассоциации России для обобщения и подготовки соответствующих обращений в законодательные органы.

В завершение официальной части форума состоялось награждение победителей конкурса ТАР «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений».

В номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных соору-



Участники форума на стадионе «Зенит-Арена»

жений» были отмечены ОАО «Метрострой» и ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» – за внедрение прогрессивных технологий по сохранению исторической застройки Санкт-Петербурга при сооружении подземных выработок метрополитена.

В номинации «Временные и постоянные конструкции для крепления выработок котлованов, различных сооружений» награду получил АО «Мосметрострой» – за сооружение монтажно-демонтажной щитовой камеры с ограждающими конструкциями котлована из буросекущихся свай и монолитной железобетонной системой крепления котлована.

В номинации «Материалы и конструкции для тоннелей и подземных сооружений» – ООО «Баутрейд» – за разработку прогрессивной технологии производства металло-керамических панелей «Хард Волл», успешно применяющихся для отделки стен вестибюлей станций метрополитена и подземных переходов.

Также для участников форума была организована техническая экскурсия на стадион «Зенит-Арена» и строящуюся станцию «Новокрестовская» – уникальные объекты, сооружение которых приурочено к ЧМ-2018 по футболу. Генподрядчиком на объектах вы-

ступает ОАО «Метрострой». Участники экскурсии получили возможность осмотреть уникальный стадион с выкатным полем и раздвижной кровлей, способный вместить более 60 тыс. болельщиков. Спортивных объектов такого уровня в мире насчитывается всего пять. Затем специалисты спустились на отметку –25 м в подземный вестибюль станции «Новокрестовская», площадь которого превышает 200 м². Станция и двухпутный перегонный тоннель построены на намывной территории, в сложнейших инженерно-геологических условиях. Планируемый срок сдачи объекта в эксплуатацию – апрель 2018 г.

Прошедший форум еще раз продемонстрировал профессионализм и широкие возможности российских специалистов в области метростроения и комплексного освоения подземного пространства. Очевидно, что благодаря усилиям профессионального сообщества, объединенного ТАР, идея комплексного освоения подземного пространства как основы формирования комфортной и безопасной городской среды, постепенно будет реализована. Тоннельщики России готовы к реализации самых сложных проектов подземного строительства.



ТОННЕЛЕСТРОИТЕЛИ В АКАДЕМИИ ГОРНЫХ НАУК

Ю. Н. Малышев, академик РАН, президент АГН

1 ноября 2017 г. в офисе Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России произошло знаковое событие, связанное с сотрудничеством Академии горных наук и сообщества тоннелестроителей. Пять известных ученых и специалистов из среды тоннельщиков получили дипломы Академии горных наук об избрании их членами академии.

Академия горных наук объединяет ведущих ученых и специалистов в области горного дела и геологии, нефтяной и газовой промышленности, разработки рудных и нерудных полезных ископаемых.

Целью и предметом деятельности Академии являются содействие развитию минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов, проведение независимых фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям горных наук, содействие совершенствованию процесса подготовки и переподготовки специалистов для отраслей минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов России.

Академия принимает участие в разработке закона «О недрах», экспертизе проектов и тесно сотрудничает с федеральными органами власти (Ростехнадзором, Минприроды РФ, Минпромэнерго РФ и др.).

Академия аккредитована в качестве неправительственной организации при ООН, имеет специальный консультативный статус при ее Экономическом и Социальном Совете, при Комитете по устойчивой энергетике. Благодаря этому обеспечиваются значительные права и привилегии участников. В частности, возможность инициировать новые направления деятельности, работать в качестве экспертов, советников и консультантов правительств и Секретариата ООН, участвовать в специальных сессиях Генеральной Ассамблеи, иметь доступ к различным источникам информационных материалов.

В Академии существует секция по подземному строительству, в которой активно работают ученые и специалисты тоннельного дела (С. Г. Елгаев, Б. И. Федунец, Н. Н. Бычков, М. Н. Шуплик, Б. А. Бахарев и др.). Набор в Академию новых членов из отряда тоннелестроителей придает дополнительный импульс к научно-техническому сотрудничеству в сфере подземного строительства.

Приведем короткие биографические сведения о недавно избранных членах Академии горных наук, которые сейчас являются видными учеными и специалистами тоннельного строительства и в дальнейшем, надеемся, будут вносить существенный вклад в развитие горного и тоннельного дела.

Меркин Валерий Евсеевич, научный руководитель ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» – доктор технических наук, профессор, академик Российской академии транспорта. Он автор более 200 научных трудов, 59 изобретений и 11 патентов на изобретения, ведет научно-педагогическую работу в должности профессора МГСУ. В. Е. Меркин является одним из ведущих ученых и крупным специалистом Российской Федерации в области строительства транспортных тоннелей и метрополитенов. Он руководитель подкомитета по подземному строительству комитета по стандартизации Минстроя РФ, член Городской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям, президиума Научно-технического совета Департамента строительства г. Москвы, правления Тоннельной ассоциации России (ТАР), редакционных сове-

тов журналов «Транспортное строительство», «Метро и тоннели», «Инженерные сооружения». Валерий Евсеевич внес большой личный вклад в проектирование и научно-техническое сопровождение строительства уникальных тоннелей БАМа и Кавказа, подземных сооружений транспортной инфраструктуры Москвы. В их числе крупнейшие в Европе Лефортовские и Серебряноборские тоннели 3-го транспортного кольца, тоннели Кутузовский, Гагаринский, Волоколамский и в Сочинском регионе. В. Е. Меркиным были разработаны принципы использования эффективных материалов и конструктивно-технологических решений современного мирового уровня, обеспечивающие высокое качество, необходимые темпы и безопасность работ, охрану природной и городской среды. Под его руководством и при непосредственном участии разработаны почти все основные нормативные документы по транспортному тоннелестроению. Благодаря своему ответственному отношению к выполнению поставленных задач, высокому профессионализму и личным качествам Валерий Евсеевич Меркин пользуется заслуженным авторитетом и уважением руководства и коллег различных организаций страны и за рубежом, занятых в подземном строительстве.

Иванчиков Владимир Иванович, первый заместитель председателя правления – руководитель Исполнительной дирекции ТАР. С 1996 по 2016 г. работал в Московском метрополитене в должностях заместителя главного инженера, заместителя начальника метрополитена – начальника Дирекции строящегося метрополитена. За этот период построены и сданы в эксплуатацию перегоны и станции «Улица Академика Янгеля», «Аннино», «Бульвар Дмитрия Донского», Бутовская линия со станциями «Улица Старокачаловская», «Улица Скобелевская», «Бульвар Адмирала Ушакова», «Улица Горчакова», «Бунинская аллея», станции «Строгино», «Мякинино», «Волоколамская», «Митино», «Парк Победы», «Деловой центр», «Международная» и ряд других. Принимал участие в мероприятиях по закупке и вводу в эксплуатацию проходческого комплекса фирмы «Ловат». В составе правительственных делегаций принимал участие в переговорах по проектированию и строительству метрополитена в городах Триполи (Ливия), Хошимин (Вьетнам), Тегеран (Иран). В настоящее время В. И. Иванчиков работает в ТАР в должности руководителя Исполнительной дирекции, где проводит большую работу по содействию в выработке технической политики и научно-технических программ в области исследований, проектирования, строительства и эксплуатации метрополитенов и тоннелей различного назначения, рационального использования подземного пространства городов с учетом экологических требований, развитию связей с научной и инженерно-технической общественностью зарубежных стран согласно действующему законодательству, взаимный обмен новейшими достижениями науки и техники.

Мазеин Сергей Валерьевич, заместитель руководителя Исполнительной дирекции ТАР, доктор технических наук. С 1984 по 1996 г. работал на Норильском горно-металлургическом комбинате. Прошел путь от подземного лаборанта и начальника группы в горных лабораториях горно-металлургического опытно-исследовательского центра до начальника подземного участка в Норильском шахтостроительном тресте. В 1996–1998 гг. трудился подземным горным мастером «Специализированного управления подземных работ» на щитовой проходке подземных коллекторов диаметром от 2 до 4 м. С 2001 по 2011 г. работал сервисным инженером в отделе больших щитовых машин фирмы «Херренкнехт тоннельсервис». Участвовал в техническом сопровождении монтажа, проходки, демонтажа и ремонта проходческих комплексов диаметром от 6 до 14,2 м, строивших в Москве уникальные Лефортовские и Серебрянборские автотранспортные тоннели и тоннели метро Митинско-Строгинской линии. В составе специалистов ТАР принимал участие в научно-техническом сопровождении и отслеживании результатов щитовой проходки сложных систем больших транспортных тоннелей в Лефортово и Серебряном Бору в 2002–2007 гг. Работа по научно-техническому сопровождению продолжается для строящихся объектов Московского метрополитена. Является членом Научно-технического экспертного совета ТАР, членом Государственной аттестационной комиссии и диссертационного совета Горного института НИТУ МИСиС, профессором кафедры транспортных тоннелей и метрополитенов Института пути, строительства и сооружений МГУПС (МИИТ). Член редакционной коллегии журнала «Метро и тоннели», автор более 80 научных публикаций. Лауреат конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России» (2015).

Панкратенко Александр Никитович, заведующий кафедрой строительства подземных сооружений и горных предприятий Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», доктор технических наук, профессор. С 1980 г. работал горным мастером, а затем начальником участка в Тресте горнопроходческих работ № 3. С 1988 по 1990 г. работал старшим научным сотрудником в институте «Оргэнергострой». С 1990 г. по настоящее время работает на кафедре строительства подземных сооружений и горных предприятий. А. Н. Панкратенко является автором более 150 научных и учебно-методических работ, 15 изобретений, под его руководством защитили кандидатские диссертации пять аспирантов. За свою педагогическую деятельность А. Н. Панкратенко был удостоен звания лауреата Премии Правительства РФ в области образования. Кроме того, он награжден знаком «Шахтерская слава» III степени, медалью «В память 850-летия Москвы», является почетным строителем России



В ТАР после вручения дипломов об избрании членами Академии горных наук (слева направо: А. Н. Панкратенко, Б. И. Федунец, В. Е. Меркин, Ю. Н. Малышев, В. И. Иванчиков, С. В. Мазеин)

и почетным работником высшего профессионального образования РФ, действительным членом Российской Академии естественных наук и действительным иностранным членом Академии строительства Украины. Разработанные А. Н. Панкратенко рекомендации по технологиям строительства подземных объектов широко используются крупными проектными и строительными организациями России. Являясь главой группы взаимодействия НИТУ МИСиС со строительным комплексом Москвы, его деятельность направлена на постоянное взаимодействие образовательных структур с производством. Благодаря своему ответственному отношению к выполнению поставленных задач, высокому профессионализму и личным качествам А. Н. Панкратенко пользуется заслуженным авторитетом и уважением как у себя в Университете, так и во многих российских и зарубежных университетах и организациях, связанных с подземным строительством.

Хохлов Иван Николаевич, главный инженер ООО «Научно-инженерный центр (НИЦ) Тоннельной ассоциации» с января 2012 г., кандидат технических наук. После окончания Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» в 2011 г. работал инженером II, а затем I категории

ООО «Институт «КосмосСтройпроект» (2009–2011), с мая 2012 по ноябрь 2016 г. работал заведующим группой в АО «Мосинжпроект». И. Н. Хохлов – автор семи научных работ, ведет научную и исследовательскую работу. За успехи в работе был отмечен почетной грамотой Департамента градостроительной политики г. Москвы (2013). Является победителем конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России» (2015). В настоящее время И. Н. Хохлов активно участвует в научной работе в области транспортного строительства, а также принимает участие в научном сопровождении проектирования и строительства многих объектов строительства метрополитена в г. Москве. При его непосредственном участии проводится разработка нормативных документов в области транспортных сооружений. Благодаря своему ответственному отношению к работе и личным качествам И. Н. Хохлов пользуется уважением коллег по работе и руководства, что позволяет ему совершенствовать свой профессионализм в области подземного строительства.

Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество, чтобы в полной мере использовать мощный интеллектуальный и организационный ресурс наших сообществ – Академии горных наук и Тоннельной ассоциации России!





22 ноября 2017 г. в Москве (ул. Сретенка, д. 15) в помещении гостиницы «Сретенская» прошел Международный семинар «Современные резинотехнические изделия из EPDM для изготовления высококачественной блочной отделки транспортных тоннелей. Функциональность и технические требования резиновых уплотнителей». Организаторами являлись Тоннельная ассоциация России, НИЦ Тоннельной ассоциации России и компания «Сечиль Каучук».

На семинаре было заслушано пять докладов.

1. Функциональность резиновых уплотнительных элементов в бетонных сегментах.

2. Физические и технические требования резиновых уплотнителей, применяемых в блочной отделке транспортных тоннелей.

3. Угловые стыки резиновых уплотнителей: инъекция и тестирование элементов.

4. Измерение релаксации и поведения резинового уплотнителя в блочной отделке тоннеля.

5. Сопротивление резинового уплотнителя давлению и водонепроницаемость изделия внутри тоннеля.

Присутствовали специалисты из организаций: АО «Мосметрострой», НИЦ ТМ, ООО «Покровский Завод Железобетонных Изделий», Транспортная компания СК «Мост», АО «Моспромжелезобетон», АО «Мосинжпроект», НИЦ ТА и др.





1 ноября 2017 г. Николаю Ивановичу Кулагину, советнику генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», исполнилось 80 лет!

присвоено звание лауреата премии Совета Министров СССР.

Особые страницы трудового пути Николая Ивановича связаны с развитием метрополитена в любимом и дорогом для него городе Санкт-Петербурге. Более 30 лет руководя институтом «Ленметрогипротранс», он внес неоценимый вклад в дело развития этого уникального в инженерном и архитектурном отношении транспортного сооружения. За эти годы ему пришлось решать сложнейшие вопросы восстановления движения поездов на участке «разрыв», проектирования 2-уровневой пересадочной станции «Спортивная», разработки новых технологий, применяемых при строительстве метрополитена, в том числе технологии сооружения перегонных тоннелей с обделкой из сборных железобетонных элементов с обжатием в породе, технологии сооружения эскалаторных тоннелей с применением механизированного тоннелепроходческого комплекса. Под руководством Н. И. Кулагина при строительстве Петербургского метрополитена внедрены комплексы горнопроходческого оборудования, приспособленного для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга.

Воистину удивляет широта интересов и знаний Николая Ивановича, которые позволили руководимому им многие годы институту «Ленметрогипротранс» внести заметный вклад в развитие транспортной инфраструктуры многих регионов нашей необъятной Родины – действующие и строящиеся метрополитены в городах Самара, Ка-

зань, Новосибирск, Челябинск, Красноярск, железнодорожные и автодорожные тоннели на всей территории России свидетельствуют об этом.

Нельзя не оценить и тот факт, что, несмотря на огромную производственную нагрузку, Николай Иванович всегда находил время поделиться своим огромным опытом со студентами и молодыми специалистами, вставшими на путь инженера-строителя. С огромным уважением к Николаю Ивановичу относятся и специалисты многих зарубежных стран, в которых он побывал для оказания помощи в проектировании и строительстве транспортных объектов.

Приятно отметить, что огромную роль Н. И. Кулагин сыграл и в деле создания и становления Тоннельной ассоциации России, активно работая во всех составах ее правления. Присущие ему, помимо чисто профессиональных, человеческие качества – доброта, умение прислушаться и понять мнение своего оппонента, решительность в отстаивании общих интересов, всегда вызывают уважение.

Дорогой Николай Иванович! Примите наши искренние поздравления с Вашим Юбилеем! Мы рады, что Вы встречаете его в здравии и полным желанием продолжать свою трудовую деятельность, как в направлении Ваших производственных интересов, так и в общественном направлении. Желаем Вам многих лет яркой и плодотворной жизни!

Правление Тоннельной ассоциации России

Уважаемые коллеги!

Тоннельная ассоциация России информирует, что в соответствии с постановлением конференции от 05.04.2011 г. и дополнением к нему президиума правления от 22.12.2011 г. в феврале 2018 г. подводятся итоги конкурса им. С. Н. Власова на звание «Инженер года Тоннельной ассоциации России».

Основная цель конкурса – поощрение и популяризация инженерного труда научных, проектно-конструкторских и строительных организаций, занятых в области метро- и тоннелестроения и освоении подземного пространства. Конкурс им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России» проводится среди организаций – членов Тоннельной ассоциации России по результатам работы за истекший год.

Просьба до 10 февраля 2018 г. представить в Жюри ТАР ваши предложения по кандидатурам (не более двух человек от организации), принимавшим участие в реализации новейших технологий при проектировании и строительстве подземных сооружений.

Материалы на участников конкурса предоставляются в соответствии с Положением о конкурсе имени С. Н. Власова на звание «Инженер года Тоннельной ассоциации России».

Приглашаем принять активное участие в конкурсе.



ИТОГИ СООРУЖЕНИЯ ДВУХПУТНОГО ТОННЕЛЯ НЕВСКО-ВАСИЛЕОСТРОВСКОЙ ЛИНИИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

FINAL RESULTS OF TWO-LANE TUNNEL CONSTRUCTION FOR NEVSKO-VASILEOSTROVSKAYA LINE IN ST. PETERSBURG METROPOLITAN

Н. В. Александров, генеральный директор ОАО «Метрострой»

А. Ю. Старков, заместитель генерального директора – главный инженер ОАО «Метрострой»

N. V. Aleksandrov, Director General, OAO Metrostroy

A. Y. Starkov, Deputy Director General, Chief Engineer, OAO Metrostroy



В данной статье проводится анализ строительства двухпутного перегонного тоннеля Петербургского метрополитена с применением тоннелепроходческого механизированного комплекса.

This article analyses a two-lane tunnel construction for St. Petersburg metropolitan with the appliance of mechanized TBM.

Победа России в отборе на проведение Чемпионата мира по футболу 2018 г. потребовала усовершенствования транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга, в том числе транспортных узлов, дорог, мостов и тоннелей. Среди новых строительных объектов значится участок Невско-Василеостровской линии (НВЛ) метрополитена протяженностью 6,155 км, который включает в себя:

- две станции мелкого заложения: «Новокрестовская» и «Беговая»;

- перегонный двухпутный тоннель диаметром 10,3 м и протяженностью 5,2 км;
- стартовый котлован с галереей;
- демонтажную камеру для ТПМК;
- два однопутных тоннеля общей протяженностью 0,955 км.

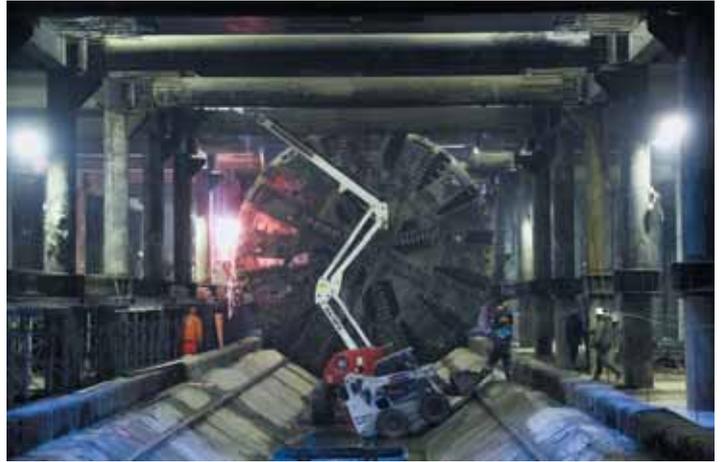
Геологические условия по трассе тоннеля представлены грунтами четвертичных отложений и залежами кембрийской глины с прослойками песчаника. Трасса в двух местах проходит под акваторией Финского залива. 1/4 трассы двухпутного тоннеля идет в толще кембрий-

ских глин с включениями песчаника. Кембрийские глины являются плотными, почти сухими, плохо размокают в воде, слабо разбухают, имеют полутвердую консистенцию, однородны и выдержаны по мощности и по простиранию.

Толща четвертичных отложений, где проходит $\frac{3}{4}$ (3,9 км) трассы тоннеля характеризуется обводненностью, наличием валунных зон, также по трассе тоннеля встречается русло древней реки. Данные условия являются неблагоприятными для ведения горнопроходческих работ, и при разработке грунта с



ТПМК вышел на станции «Новокрестовская»



Протаскивание ТПМК через станцию «Новокрестовская»

помощью традиционных методов потребовали бы дополнительных мероприятий по укреплению грунтового массива. Применение ТПМК с грунтовым пригрузом забоя позволило избежать этих дорогостоящих операций.

Сложные геологические условия строительства двухпутного тоннеля НВЛ потребовали строгого соблюдения следующих технологических параметров проходки:

- скоростных режимов разработки грунта;
- давления пригруза забоя;
- кондиционирования грунта;
- нагнетания тампонажного раствора.

Для контроля выполнения данных условий и своевременной реакции при негативных тенденциях параллельно с проходкой двухпутного тоннеля силами ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» выполнялся геотехнический мониторинг, включающий в себя:

- наблюдения за деформациями земной поверхности;
- наблюдения за деформациями зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства тоннеля;
- наблюдения за деформациями отделки диаметром 10,3 м;
- мониторинг качества заполнения заобделочного пространства тампонажным раствором;
- прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий впереди забоя.

Одной из проблем, возникших во время строительства двухпутного тоннеля НВЛ, стала транспортировка разработанного грунта на полигоны для его дальнейшей утилизации.

В соответствии с законодательством РФ летом 2015 г. было введено ограничение осевой нагрузки транспортных перевозок. Данные ограничения привели к существенной недогрузке кузовов автомобилей, участвовавших в транспортировке грунта на полигоны, что потребовало увеличения количества самосвалов для своевременного вывоза разработанного грунта со строительных площадок.

Также в период проведения футбольных матчей на Кубок Конфедераций и матчей ФК «Зенит» было неоднократно закрыто движение грузового транспорта по территории Крестовского острова, что также останавливало транспортировку разработанного грунта, а, следовательно,

и проходческие работы. Ориентировочное время простоя за данный период составило один месяц. В целях уменьшения времени простоя ТПМК было принято решение об организации дополнительной площадки для временного складирования разработанного грунта.

Во время преодоления ТПМК зон обводненных грунтов возникали сложности с транспортировкой и приемкой на полигоны грунта жидкой консистенции. В результате применялись дополнительные меры по просушке жидкого грунта и его последующей транспортировке на полигоны.

Двухпутный тоннель имеет ряд преимуществ перед традиционной технологией строительства двух самостоятельных однопутных тоннелей:

- экономия времени сооружения тоннеля;
- исключение строительства перекрестных съездов, эвакуационных сбоек и других необходимых выработок;
- удобство размещения вентиляционного и электрического оборудования в тоннеле;
- снижение стоимости строительства.

Сооружение 1 п. м двухпутного тоннеля обходится дешевле в среднем на 20 % по сравнению с сооружением 1 п. м двух однопутных тоннелей по следующим причинам:

- отсутствие необходимости в строительстве вспомогательных дорогостоящих выработок;

• сокращение сроков строительства, а, следовательно, сокращение затрат на финансирование обслуживающих процессов;

• необходимость в меньшем количестве коммуникаций, обеспечивающих эксплуатацию тоннеля (электроснабжение, водоснабжение).

Технологическая схема строительства двухпутного тоннеля НВЛ

Заданный срок строительства участка НВЛ составил 2,5 года (по проекту – 4,5 года).

В связи с крайне сжатыми сроками строительства ОАО «Метрострой» был разработан план оптимизации технологического процесса сооружения двухпутного тоннеля. Сокращение сроков строительства, согласно данным решениям, осуществлялось за счет параллельного выполнения работ по проходке тоннеля, сооружению вентиляционного перекрытия, жесткого основания и устройству верхнего строения пути.

На подготовительном этапе были выполнены следующие работы:

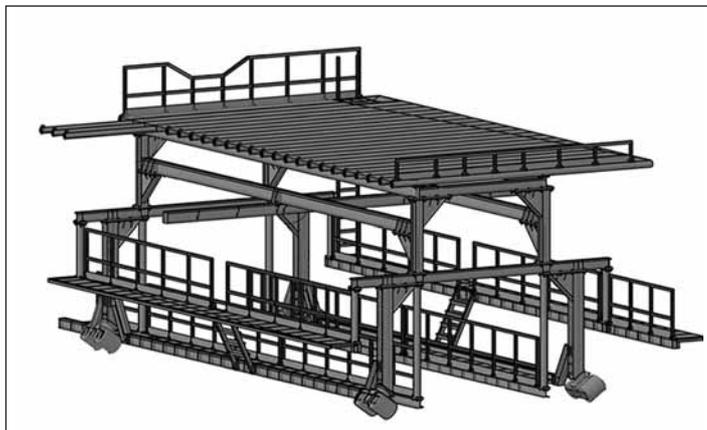
- сооружение стартового котлована;
- сооружение галереи для монтажа ТПМК;
- монтаж ТПМК и периферийного оборудования.

Рассмотрим подробно технологическую схему сооружения самого тоннеля.

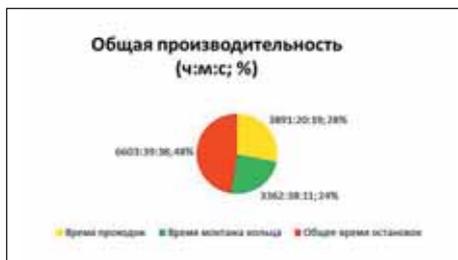
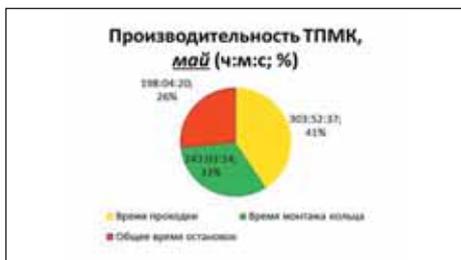
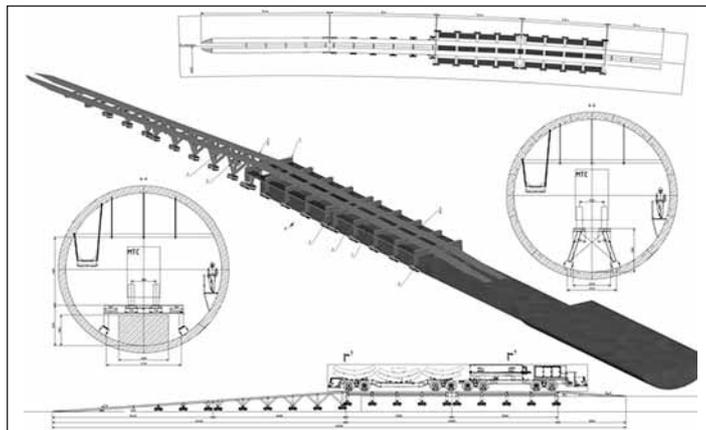
I этап – проходка тоннеля:

Сбойка, 25 августа 2017 г.





Технологическая тележка



- разработка грунта режущим органом;
- параллельно с разработкой грунта осуществлялось нагнетание тампонажного раствора в заобделочное пространство;

- монтаж обделки;

- наращивание коммуникаций.

II этап – монтаж опалубки перекрытия вентиляционного канала. Выполнялся с помощью специально разработанной технологической тележки № 4, которая находилась на жёсткой сцепке с ТПМК, не мешала движению мультисервисного транспортного средства (МТС) для обслуживания ТПМК. Также с технологической тележки № 4 производилось наращивание и складирование коммуникаций для ТПМК на проектной отметке.

III этап – укладка бетона в перекрытие вентиляционного канала. Производилась при помощи бетононасоса через технологические отверстия.

IV этап – укладка бетона в боковые уступы жесткого основания, так называемые треугольники. При этом движение мультисервисного транспортного средства (МТС) для обслуживания ТПМК сохранялось.

V этап – укладка бетона в центральную часть жёсткого основания. Осуществлялась со специально разработанной технологической тележки № 5, представляющей собой мобильную площадку с двумя пандусами, которая двигалась отставанием от сооружения уступов жёсткого основания и не мешала движению МТС.

VI этап – устройство путевого хозяйства первой очереди:

- укладка путевого бетона;

- устройство верхнего строения пути.

Также для оптимизации технологического процесса сооружения двухпутного тоннеля были реализованы следующие мероприятия.

1. Проход ТПМК через сооруженную в основных конструкциях станцию «Новокрестовская» путем передвижения по бетонному ложу, отталкиваясь домкратами от двух полублоков. Во время движения ТПМК через станцию параллельно осуществлялся ремонт ТПМК в условиях открытого доступа.

2. После прохода ТПМК через станцию «Новокрестовская» перенесено периферийное оборудование ТПМК (зона погрузки-разгрузки и хранения блоков обделки, конвейерное хозяйство со складом грунта, электрическое оборудование и т. д.), со строительной площадки стартового котлована на строительную площадку станции «Новокрестовская» для уменьшения времени логистики операций снабжения проходческих работ.

3. Устройство закладных деталей для крепления вентперекрытия в блоках обделки двухпутного тоннеля в процессе их изготовления на заводе.

25.08.2017 г. между двухпутным участком тоннеля и демонтажной камерой была произведена сбойка.

Рассмотрим основные показатели сооружения двухпутного тоннеля:

- продолжительность сооружения – 20,5 месяцев;

- время в проходке (разработка грунта + монтаж обделки) – 17 месяцев;

- запланированные технологические остановки (105 дней)*:

- осмотр и ремонт режущего органа, выход в кессон – 13 остановок,

- монтаж бустера ленточного конвейера – 5 остановок,

- наращивание ленты конвейера ТПМК – 25 остановок,

- наращивание электрического кабеля ТПМК – 21 остановка;

- эксплуатационная скорость – 247 м/мес, 137 колец/месяц;

- среднесуточная скорость – 10,2 м/сут, 5,7 колец/сут. Лучший месяц в проходке – май 2017 г. (417,6 м, 232 кольца);

- уложено бетона в жесткое основание – 43477 м³;

- уложено бетона в вентиляционное перекрытие – 6877 м³;

- уложено бетона в верхнее строение пути – 5318 м³.

Выводы

В настоящее время в Санкт-Петербурге пройдено два двухпутных тоннеля диаметром 10,3 м общей протяженностью 8,9 км (3,7 км на участке Фрунзенско-Приморской линии, 5,2 км на участке Невско-Василеостровской линии). Применение ТПМК для проходки тоннелей мелкого заложения большого диаметра в условиях обводненного грунта с наличием большого скопления валунов позволило сократить стоимость и сроки строительства объекта, автоматизировать операции, выполняемые по традиции вручную.

Петербургские метростроители усовершенствовали технологическую схему сооружения двухпутного тоннеля за счет внедрения в основной проходческий процесс дополнительных механизмов, что позволило большую часть бетонных работ производить параллельно с проходкой. Данная технологическая схема сооружения двухпутного тоннеля защищена патентом РФ.

Ключевые слова

Двухпутный тоннель, Чемпионат мира по футболу 2018, Петербургский Метрострой Two-lane tunnel, FIFA 2018, St. Petersburg Metrostroy.

Для связи с авторами

Александров Николай Вадимович
mail@metrostroy-spb.ru
Старков Алексей Юрьевич
mail@metrostroy-spb.ru



*также имели место вынужденные остановки проходческих работ ввиду проведения Кубка Конфедераций 2017 и матчей ФК «Зенит»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ГРУНТОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

TECHNOLOGICAL DEFORMATIONS OF THE FOUNDATION OF EXISTING BUILDINGS IN THE INSTALLATION OF SOIL-CONCRETE ELEMENTS

С. С. Зуев, О. А. Маковецкий, ОАО «Нью Граунд»

S. S. Zuev, O. A. Makovezkii, New Ground

Дополнительные осадки от строительного–технологических воздействий могут вызвать потерю устойчивости основания существующих фундаментов. Для оценки характера развития и величины технологических осадок при устройстве грунтобетонных элементов были выполнены аппаратный и геодезический мониторинг, представлены их результаты. Проведенные исследования применения технологии струйной цементации грунта показывают допустимость ее использования для устройства геотехнических барьеров.

Additional upset from construction and technological influences can cause a loss of stability of the foundation of existing foundations. To assess the nature of the development and the magnitude of the technological upset during the construction of soil-concrete elements, hardware and geodetic monitoring was performed, and their results were presented. The conducted researches of application of technology of jet ground carburizing show the admissibility of its use for the device of geotechnical barriers.

При проектировании новых объектов в городской и промышленной застройке необходимо выполнение расчета по деформациям как новых зданий, так и существующих соседних. На процесс трансформации НДС «основание – здание – окружающая застройка» существенное влияние оказывают физико-механические характеристики грунтового массива, технология устройства котлована и ограждающей конструкции, технология подготовки искусственного основания, последовательность возведения подземной и надземной части здания. Дополнительные осадки от строительного–технологических воздействий могут вызвать потерю устойчивости основания су-

ществующих фундаментов. Осадки этого вида вызываются вибрацией грунта, фундамента и наземных конструкций вследствие погружения свай и шпунта молотами различного типа или вибраторами, созданием вблизи строительного котлована глубже подошвы существующих фундаментов, промораживанием при зимнем ведении земляных работ, пылуемым разжижением грунта под фундаментами при открытой откачке подземной воды, поступающей в котлован, отклонением шпунтовых стен в котлованах [1, 2].

Особое внимание следует уделять работам по преобразованию строительных свойств грунта различными методами: уплотнению грунтов трамбовками, шнековы-

ми буроинъекционными сваями, нагнетанием в грунтовое пространство цементного раствора под большим давлением. Анализ теоретических решений по оценке НДС оснований при различных технологиях устройства искусственно улучшенных оснований показывает, что при применении этих методов в грунтовой массе развиваются остаточные деформации, увеличивается плотность, растут компоненты напряжений, которые частично релаксируются, а частично остаются.

Для оценки характера развития и величины технологических осадок при устройстве грунтобетонных элементов в непосредственной близости от существующих фунда-

Рис. 1. Работы по устройству грунтобетонных элементов в непосредственной близости от существующих конструкций



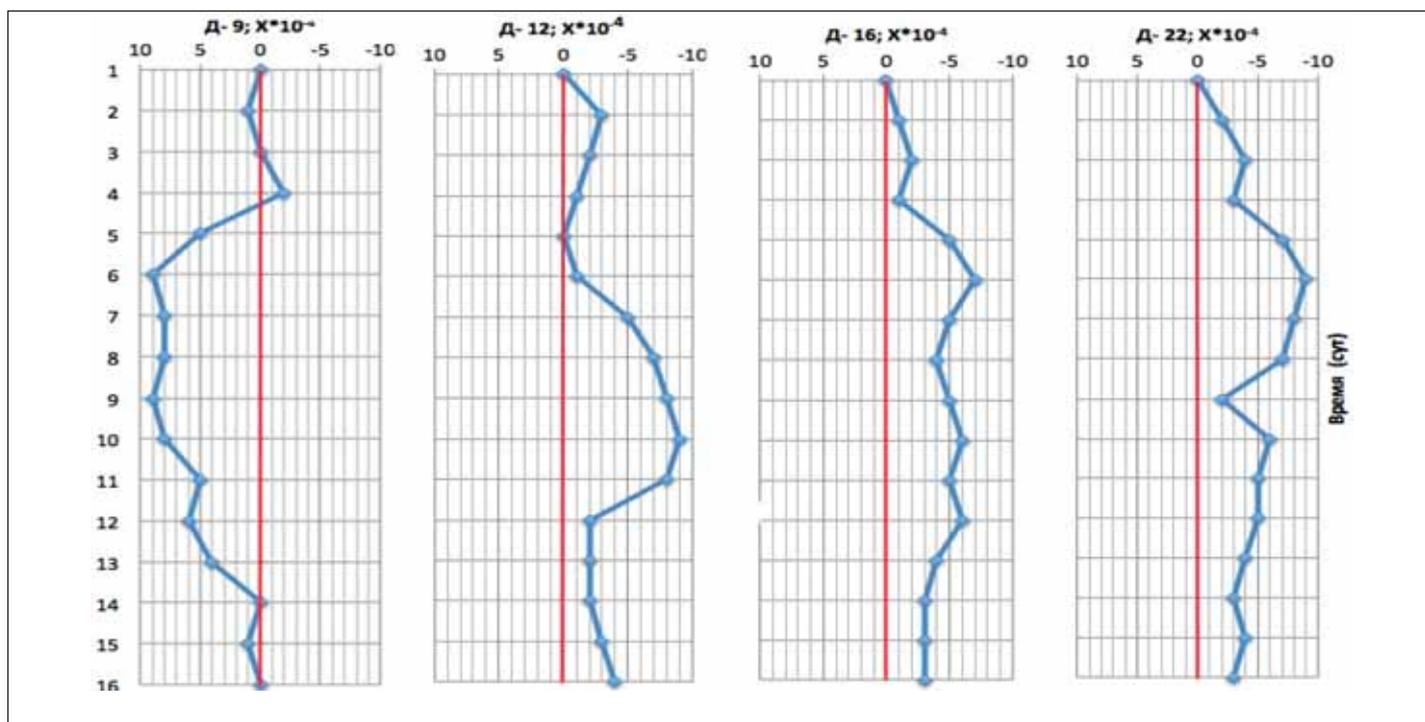


Рис. 2. Технологические деформации (относительные отклонения от вертикали) колонн Д-9, Д-12, Д-16, Д-22 при устройстве грунтобетонных элементов

ментов были выполнены аппаратный и геодезический мониторинг.

В качестве объекта для выполнения аппаратного мониторинга были рассмотрены колонны металлического каркаса промышленного здания при устройстве около них системы геотехнических барьеров (рис. 1).

Измерение положения (угла наклона) колонн проводилось с помощью системы мониторинга «Терем-4». Система позволяет вести многопараметрический, многоканальный непрерывный мониторинг объектов, регистрируя процессы изменения во времени различных физических величин: линейных и угловых перемещений. Для определения угла наклона колонн система была укомплектована пятью датчиками наклона (инклинометрами) ИН-Д 3.2 со встроенными адаптерами. Датчики (инклинометры-адаптеры) ИН-Д 3.2 являются 2-координатными, то есть позволяют фиксировать углы наклона в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Основные характеристики инклинометров-адаптеров ИН-Д 3.2:

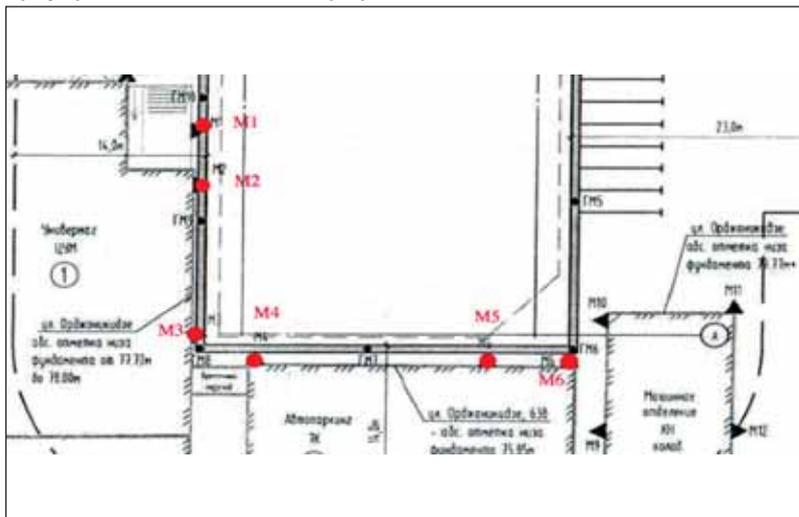
- диапазон измеряемых углов наклона – ± 5 град;
- разрешение – 20 с;
- угол между горизонтальными измерительными осями – 90 ± 1 град;
- рабочий диапазон температур – от -30 до $+50$ °С;
- температурный дрейф – 0,005 °С.

Инклинометры-адаптеры ИН-Д 3.2 были установлены на колоннах по осям «9», «12», «16», «22» по оси «Д». Направление X – перпендикулярно осям, Y – вдоль осей. Так как через уголки датчики жестко прикреплены к колоннам, то показания наклона датчиков соответствуют наклону колонн. Датчики были установлены на высоте ≈ 4 м от верха фундаментов колонн на приваренных к колоннам металлических уголках. С центральным регистрирующим блоком инклинометры-адаптеры были соединены кабелями через соединительные коробки. Замеры значений углов наклона проводились с периодом в 1 ч. Обработка результатов (перевод углов наклона в относительный крен колонн) и построение графиков изменения крена колонн велось с помощью программы Microsoft Office Excel. Результаты аппаратного мониторинга представлены в виде графиков на рис. 2.

За период проведения мониторинга значения величины крена колонн не превысили предельного значения – 0,002, фактические максимальные значения поперечного и продольного крена колонн за период наблюдений составили не более 0,001. Проведенные работы показали возможность проведения работ в непосредственной близости от существующих конструкций фундаментов, что затем было подтверждено на других производственных площадках.

Геодезический мониторинг вертикальных перемещений основания существующих зданий при устройстве грунтобетонных элементов по технологии Jet-2 был выполнен при устройстве системы геотехнических барьеров глубиной 36 м от поверхности. На стенах зданий были закреплены геодезические марки, на площадке за пределами зоны влияния выполнен грунтовый репер. Схема расположения стеновых марок приведена на рис. 3. Марки М1-М3 были закреплены на здании с отдельно стоящими фундаментами под конструкции же-

Рис. 3. Схема контрольных точек измерения вертикальных перемещений оснований при устройстве геотехнического барьера



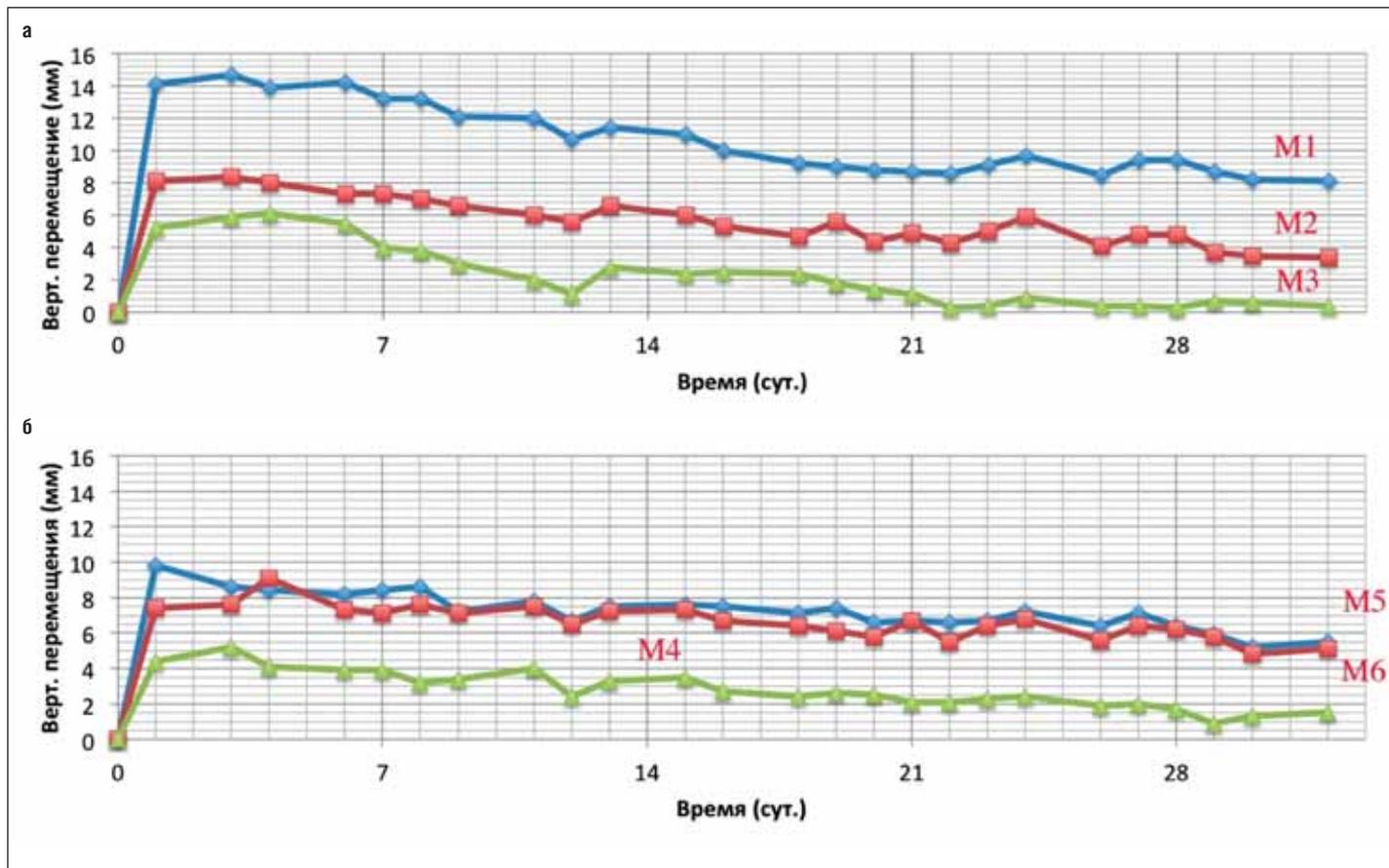


Рис. 4. Вертикальные перемещения основания отдельно стоящих фундаментов (а) и фундаментной плиты (б) при устройстве геотехнического барьера глубиной 36 м

лезобетонного каркаса, марки М4-М-6 на здании с единой фундаментной плитой под конструкции железобетонного каркаса. Давление на основание под подошвой существующих фундаментов находится в пределах 200–250 КПа.

Вертикальные перемещения определялись путем высокоточного геометрического нивелирования II класса точности с помощью цифрового нивелира Dini 03 № 708419 и с использованием инварной штрих-кодовой рейки. Точность проводимых измерений – 0,2 мм (Сертификат поверки измерительной системы приведен в приложении № 3).

В соответствии с указаниями Руководства [4] измерения проводились одним горизонтом в прямом и обратном направлениях способом совмещения. Измерения осуществлялись в течение 32 дней (один раз в сутки) в период проведения работ по устройству грунтобетонных элементов. Результаты измерений приведены в виде графиков развития перемещений во времени на рис. 4.

Анализ проведенных измерений показал: технологические перемещения (подъем) отдельно стоящих фундаментов составляют 5–14 мм, фундаментной плиты – 4–10 мм, и не превышают предельно допустимых значений дополнительных перемещений [3, 5] для зданий, находящихся в работоспособном состоянии. С течением времени происходит снижение дополнительных напряжений в массиве грунта, вызванных технологическим процессом, снижение перемещений и их стабилизации на уровне 55–65 % от первоначальной величины. Проведенные исследования применения технологии струйной цементации грунта в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений показывают допустимость ее использования для устройства геотехни-

ческих барьеров при проведении ежесменного геодезического контроля.

Список литературы

1. Астраханов Б. Н. Тенденции развития технологии устройства ограждения котлованов в условиях плотной городской застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2002. – № 4. – с. 4–8.
2. Мангушев Р. А., Ошурков Н. В., Гутковский В. Э. Влияние трехуровневого подземного пространства на жилые здания окружающей застройки // Жилищное строительство. 2010. – № 5. – с. 23–27.
3. Разводовский Д. Е. Допустимые деформации существующей застройки // Вестник НПЦ «Строительство», М.: 2017. – Вып. 13. с. 106–121.
4. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975. – 156 с.
5. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: Минрегионразвития РФ, 2011.

Ключевые слова

Струйная цементация грунта, строительно-технологическое воздействие, инклинометр, геодезический мониторинг.
Jet Grouting, construction and technological impact, inclinometer, geodesic monitoring.

Для связи в авторами

Зуев Станислав Сергеевич
szuev@inbox.ru
Маковецкий Олег Александрович
oleg-mak@inbox.ru



ЧТО МЕШАЕТ БЫСТРО СТРОИТЬ МЕТРО

WHAT PREVENTS QUICK BUILDING FOR SUBWAY

В. А. Марков, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

V. A. Markov, Lenmetrogioprotrans



Рассматривается Постановление № 87 РФ о составе проектной документации. В результате этого Постановления затягиваются сроки проектирования метростроения. Проектная документация разрабатывается при отсутствии изысканий, земельных участков, технических условий, а также с высокой подробностью разработки и слабым финансированием. Не оправдывает себя приемка выполненных работ не по рабочей, а по проектной документации. В результате предложены решения для внесения их в законодательную базу для объектов метрополитена.

The Ordinance No. 87 of the Russian Federation on the composition of project documentation is considered. As a result of this Ordinance, the design time for metro construction is delayed. The project documentation is developed in the absence of surveys, land plots, technical conditions, as well as design is very detailed and the financing is poor. Acceptance of the executed works not on working, and under the design documentation does not justify itself. As a result, solutions have been proposed for introducing them into the legislative framework for metro facilities.

При всей актуальности строительства новых линий метрополитена Законодательная база, его регламентирующая, не позволяет своевременно обеспечить это строительство проектной документацией, а если смотреть шире – и не позволяет его вести.

О каких документах идет речь?

Первым таким документом является Постановление № 87 РФ о составе проектной документации.

Указанное постановление отменило трехстадийность проектирования, которое существовало все прошедшие до перестройки годы и хорошо себя зарекомендовало.

Первая (предпроектная) стадия рассматривала возможные варианты строительства, стоимость, земельные участки, необходимые для его осуществления, необходимые ресурсы для строительства и эксплуатации в дальнейшем. Для оценки использовались уже построенные аналоги. При этом выбор варианта строительства осуществлялся экспертизой Госстроя СССР.

На следующей стадии разрабатывались основные технические решения (конструкции, планировки), указывались основные инженерные системы. Все это выполнялось на ба-

зе прошедшего экспертизу Технико-экономического обоснования (ТЭО). Стадия «Проект» проходила ведомственную экспертизу (ЦУЭП МПС), которая утверждала основные показатели объекта и в своем заключении давала рекомендации по устранению замечаний экспертизы в рабочей документации.

На последней стадии разрабатывалась рабочая документация, которая должна была опережать строительство менее чем на год для подготовки подрядных организаций.

Постановление РФ № 87 коренным образом изменило ситуацию. Конечно, оно задумывалось для учета вновь появившихся рыночных отношений, но совершенно не учитывало реалии проектирования метрополитенов.

Во-первых, Постановление РФ № 87 отменило трехстадийность, в связи с чем проектная документация началась разрабатываться с «нуля» при отсутствии изысканий, земельных участков, технических условий и т. д.

Во-вторых, Постановление РФ № 87 потребовало неоправданно высокой подробности разработки утверждаемой части проектной документации (при отсутствии решения о строительстве) при слабом финансировании

этих работ, так как стоимость раздела была определена ориентировочно на усмотрение заказчика, а действующие сборники цен на проектные работы не откорректированы.

В-третьих, Постановление РФ № 87 предусматривает урегулирование земельных вопросов до завершения проектной документации, что возможно и оправдывает себя при разработке коммерческих объектов (сначала купи землю, а потом разрабатывай проект), но в отсутствии стадии ТЭО является непреодолимым тормозом, приводящим к колоссальному затягиванию проектных работ. Ведь до начала проектирования неизвестно, какие земельные участки потребуются для его осуществления, так как это и определяет стадия «Проектная документация». А пока нет земельных участков (а их отведение может занять годы), невозможно протрассировать метрополитен, разместить наземные и подземные объекты, следовательно – выполнить инженерные изыскания.

И вся эта работа должна базироваться на утвержденном региональным правительством Проекте планировки территорий (ППТ) для строительства линейного объекта (кото-

рый будет разрабатываться не менее года после решения всех земельных вопросов).

И таких подводных камней множество (здесь затронуты только основные). Все вышеуказанное, при строгом выполнении буквы закона, приводит к тому, что проектная документация будет разрабатываться от трех до пяти лет, и к моменту завершения и подачи на экспертизу, возможно, потеряет свою актуальность (изменится нормативная база, устареют изыскания, поменяется подход и т. д.).

Следующим этапом, задерживающим строительство, является прохождение Государственной экспертизы. При том, что ее требования не ограничены никакими нормативными документами, и экспертиза может потребовать документацию любой подробности, любые согласования и любые справки, она не дает никаких рекомендаций по устранению замечаний, а только констатирует их.

Соответственно, при ограниченном сроке экспертизы устранить все замечания невозможно (некоторые согласования могут длиться месяцами), и проектная документация даже за одно неснятое замечание получает отрицательное заключение (даже притом, что сняты все остальные замечания, количество которых достигает нескольких сотен).

Далее проект дорабатывается и повторно поступает на экспертизу, и все повторяется снова, так как экспертиза рассматривает не снятие предыдущих замечаний, а проект в целом. И это может повторяться несколько раз, учитывая, что экспертиза платная и обходится очень дорого.

Для ускорения начала строительства Постановление РФ № 87 было дополнено Постановлением РФ № 1006, проект которого предусматривал разрешить начало подготовительных работ по строительству метрополитена до завершения экспертизы. Но получилось как всегда! В окончательной версии Постановление РФ № 1006 разрешило, на усмотрение заказчика, выделить подготовительные работы в отдельный этап проектирования, пройти экспертизу и начать подготовительные работы до прохождения экспертизы основного проекта, что уже не давало никакого ускорения, так как для утверждения проекта подготовительных работ требовался тот же набор документов и изысканий, что и для основного проекта. Государственная экспертиза, в свою очередь, сделала разработку этого проекта обязательной и не принимает основной проект на экспертизу до получения вспомогательным проектом положительного заключения, что еще больше затянуло срок проектирования.

В ряде случаев, когда финансирование объекта ведется из региональных источников, а метрополитен относится к таким объектам, Госэкспертиза потребовала прохождение экспертизы сметной части проекта в региональной экспертизе, что еще более увеличило срок ее проведения, ведь если даже пройти экспертизу с первого раза, прохождение всех трех экспертиз по очереди займет более одного года.

И вот, наконец, получено положительное заключение проектной документации, но

стройка еще не началась. По действующим законам необходимо провести тендерные торги на разработку рабочей документации, что само по себе является некорректным по отношению к организации, разработавшей предыдущую стадию, так как при всей сложности и объеме стадии «Проектная документация» – ее стоимость несоизмеримо мала, и может быть скомпенсирована только стоимостью разработки рабочей документации. Этим часто пользуются горе-организации, которые не в состоянии разработать стадию «Проектная документация», но готовы урвать лакомый кусок в виде рабочей документации. При этом, отдавая таким организациям разработку рабочей документации, заказчик не задумывается, что новый проектировщик может неправильно понять проектную документацию, принять другие параметры и расчетные схемы, а это, в свою очередь, может привести к тяжелым последствиям.

Наконец на основании тендерных торгов выбран и проектировщик и подрядчик, но рабочей документации нет, так как на ее разработку нужно время, особенно если ее выполняет новая организация. При этом такая документация по понятным причинам делается в спешке с массой ошибок, так как отсутствует время на ее анализ. И так как задел документации отсутствует, с первого дня строительства он продолжается и далее, часто принимая катастрофический размер.

И тут вступает в действие Градостроительный кодекс. Он и Постановление РФ № 87 гласят, что в процессе строительства невозможны какие либо изменения проектной документации. Более того, государственные надзорные органы ведут приемку выполненных работ не по рабочей, а по проектной документации.

К чему это приводит? К моменту начала строительства с момента начала разработки проектной документации прошло несколько лет, к тому же цикл строительства линии метрополитена занимает еще пять-семь лет. Уже не выпускается оборудование, заложенное в проектной документации, сменилась нормативная база, выявились некоторые недочеты в проектной документации, появились новые материалы, уточнились изыскания. Но надзорные органы по-прежнему уверяют построенные сооружения не с рабочей, а с проектной документацией, штрафую заказчика в случае несоответствия. И при этом заказчик никак не может повлиять на ситуацию, так как в соответствии с требованием Градостроительного кодекса, при выявлении необходимости изменения проектной документации строительство должно быть остановлено, проект откорректирован и заново направлен на экспертизу.

А это остановка строительства на годы, притом, что у государственного заказчика просто нет средств на корректировку.

Казалось бы, в Градостроительном кодексе есть лазейка, допускающая изменение проектной документации, и если изменения не влияют на безопасность объекта, но в следующих статьях кодекса оговорено, что влияет

или не влияет на безопасность изменения, может определить только орган, выдавший положительное решение (Государственная экспертиза). А процедура рассмотрения подобных вопросов не оговорена.

И так как в указанных документах есть фраза «Любые изменения», инспектирующие органы получают инструмент для нескончаемых придинок даже к вопросам, которые находятся в исключительной компетенции подрядчика и заказчика и не влияют на безопасность и конечный результат. И таких примеров множество, что, в конечном итоге, провоцирует злоупотребления.

Для решения указанных вопросов считаю необходимым предложить следующие решения для внесения их в законодательную базу для объектов метрополитена:

- вернуть трехстадийную форму разработки проектной документации: инженерные изыскания, проектная документация (утверждаемая часть), проектная документация (рабочая документация);
- разработку ТЭО выполнять в нескольких вариантах с утверждением выбранного варианта Государственной экспертизой;
- начинать разработку последующих стадий после разработки на основании утвержденного ТЭО Проекта планировки территории (ППТ) линейного объекта, отвода (изъятия) земельных участков, необходимых для строительства, получения технических условий;
- изменить требуемый для прохождения экспертизы объем проектной документации, ограничив его основными техническими решениями, основными конструкциями и планировками с правом вносить изменения в проектную документацию при наступлении объективных причин (изменение норм, смена номенклатуры оборудования, улучшение (удешевление) объекта, применение новых строительных материалов);
- выставлять на торги одним лотом утверждаемую и рабочую проектные документации, разделить срок их выполнения календарным графиком.

В заключение хочется отметить, что вопрос назрел, болезнь понятна, и гнойник до настоящего времени не лопнул только оттого, что строительство метрополитена во всех городах России (кроме Москвы) ведется в таких малых объемах, что времени хватает даже на выполнение вышеописанных ущербных норм, ссылками на которые и обосновывается в ряде случаев отсутствие строительства (ведь у нас нет подготовленной проектной документации!!!).

Ключевые слова

Проектирование метрополитена, технико-экономическое обоснование, проектная документация, рабочая документация.

Subway design, feasibility study, project documentation, working documentation.

Для связи с автором

Марков Владимир Андреевич
lmg@lenmetro.ru



АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СХОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ С ДАННЫМИ МОНИТОРИНГА

AN ANALYSIS OF THE FACTORS WHICH INFLUENCE GEOTECHNICAL CALCULATIONS AND MONITORING DATA AGREEMENT

Д. С. Колюхов, АО «Мосинжпроект»

С. А. Казаченко, ГОУ ВПО НИУ «МГСУ»

D. S. Konuchov, JSK Mosinzhpoejekt

S. A. Kazachenko, National Research University MGSU

Основным критерием корректности выполненных геотехнических расчетов и принятых в них расчетных моделей является степень сходимости прогнозных расчетных величин с измеренными. В статье приводится анализ влияния различных критериев прочности (расчетных моделей) грунта и постановки задачи (2D, 3D) на результаты геотехнических расчетов, выполненных методом конечных элементов. Проводится сопоставление результатов выполненных расчетов с данными мониторинга на этапе строительства. Даются рекомендации по выбору расчетных моделей и постановки задачи (2D, 3D) при расчете подземных сооружений.

The degree of convergence between calculated and measured value is the main correctness criteria for geotechnical analysis and used theoretical models. The report contains analysis, how different strength criterion (theoretical models) of soil and type of model (2D, 3D) influence geotechnical (FEA) analysis result. Results of geotechnical (FEA) analysis are compared with monitoring data. Selection of strength criteria (theoretical models) of soil and type of model in underground structure calculations are recommended

Сложившаяся практика геотехнического и научно-технического сопровождения строительства, а также требования нормативных документов СП 22.13330.2011; СП 120.13330.2012; СП 248.1325800.2016 сводятся к практическому исключению из геотехнических расчётов системы «подземное сооружение – вмещающий грунтовый массив» аналитических методов механики грунтов и повсеместному использованию численных методов. Для проведения математического моделирования совместной работы подземного сооружения с вмещающим грунтовым массивом (геотехнических расчётов) применяются современные геотехнические программные комплексы. При этом сопоставление расчётных (полученных с использованием программного комплекса PLAXIS) и измеренных величин осадок оснований фундаментов зданий, расположенных в зоне влияния строительства котлованов, приведённое в [5], показывает расхождения: до 20 % при креплении ограждений котлованов анкерами и железобетонными перекрытиями и до 30 % – распорками из металлических труб. В [8] показано, что это расхождение может составлять 7–34 %. По данным анализа результатов мониторинга 15-ти объектов, проведённого в [6], можно сделать вывод, что это расхождение может составить от 3 до 75 % в зависимости от способов крепления и производства работ в котловане. В [24]

приводятся еще большие величины: для «стены в грунте» и ограждения из металлических труб расхождение расчётных и замеренных осадок дневной поверхности за ограждением котлована достигает 100 %.

Нужно отметить, что подобная ситуация характерна как для численных, так и для аналитических методов расчёта. При наблюдении за осадками строящегося 31-этажного здания [17] было установлено, что расчётные осадки, полученные как численным (метод конечных элементов, расчётная осадка 170 мм), так и аналитическим (метод послойного элементарного суммирования, расчётная осадка 188,41 мм) методами существенно превышают фактически замеренные значения (максимальная осадка 113,1 мм, минимальная 71,5 мм, средняя 97 мм). В [18] приводится сопоставление результатов аналитических расчетов с данными натурных наблюдений за осадками: по СНиП 2.02.01-83, по СП 50-101-2004 и по методу Егорова, показывающее, что для метода послойного суммирования расхождение расчётных и наблюдаемых значений составляет 30 %. «Осадки по другим методам в разы отличаются от наблюдений» [18]. В качестве основной причины такой ситуации авторы [18] указывают на недостаточность данных инженерно-геологических изысканий, при которых только часть физико-механических характеристик грунтов определяется экспериментально, а

вторая часть – принимается по справочным данным.

Эти данные подтверждаются результатами исследований [16], показавших влияние принятой в расчёт величины коэффициента Пуассона на зависимость осадки одиночного фундамента s от приложенной нагрузки p (рис. 1).

В чем причина подобного явления, в первую очередь применительно к математическому моделированию геотехнических задач.

Исторически сложилось так, что в нашей стране для решения геотехнических задач численными методами в основном используется метод конечных элементов. На его математическом аппарате базируется ряд используемых отечественными геотехниками зарубежных программных комплексов коммерческого назначения: PLAXIS, MIDAS, Z_Soil и некоторые другие, в основном реализующие « типовые » математические модели грунта с некоторыми вариациями:

- модель Кулона-Мора;
- шатровые модели «Cam Clay»;
- различные вариации «упрочняющейся» модели «Hardening Soil Model» (в некоторых программных комплексах называется «Modified Coulomb-Mohr»);
- модели скальных грунтов.

Одним из немногих исключений из этого ряда является разработанный в Санкт-Петербурге программный комплекс «FEM models»,

использующий упрочняющуюся вязко-упруго-пластическую модель грунта [20].

Отечественными проектировщиками для описания поведения нескальных грунтов в основном используются модель Кулона-Мора и «Hardening Soil Model».

Наиболее часто используемой для геотехнических расчётов является «идеально упругопластическая модель с предельной поверхностью, описываемой критерием Кулона-Мора». Основным достоинством данной модели для её применения на территории РФ является использование физико-механических свойств грунтов, определяемых по испытаниям [1–3, 13]. Применение в расчётах нелинейных моделей грунтов, рекомендуемое [11, 12, 14, 15], осложнено тем, что необходимость определения таких характеристик как секущий модуль общей деформации E_{50}^{ref} , разгрузочный модуль общей деформации E_{ur}^{ref} , одометрический модуль общей деформации E_{oed}^{ref} и ряда других, необходимых для выполнения расчётов с использованием нелинейных моделей поведения грунта под нагрузкой, не установлена [1–3] и должна быть отдельно внесена в программу инженерно-геологических или геотехнических изысканий, что может быть сделано только в рамках научного сопровождения строительства. Таким образом, при использовании упругопластической модели:

- нет необходимости в проведении дополнительных дорогостоящих изысканий для определения недостающих механических свойств грунтов;
- при назначении недостающих характеристик по «справочным данным» не требуется обосновывать их величины и нести ответственность за несовпадение результатов расчёта с фактическими значениями.

Основные недостатки этой модели были подробно рассмотрены в [21]. В первую очередь они заключаются в следующем.

1. При описании пластических сдвиговых деформаций не учитывается нелинейность при объёмном сжатии. Эта проблема частично может быть решена при задании в качестве исходных данных модуля сдвига G_{ref} вместо модуля Юнга E , однако этот приём может быть использован только для решения очень узкого круга задач.

2. Использование в модели модуля Юнга предполагает равенство модулей деформации грунта на фазах первичного нагружения и разгрузки, следствием чего, например, становится чрезмерное расчётное поднятие дна котлована после моделирования его откопки, при этом в зону выпора вовлекается окружающий котлован грунтовый массив. Для того чтобы минимизировать этот эффект, в руководстве к программному комплексу PLAXIS при составлении расчётной схемы предлагается ограничивать максимальное расстояние от низа конструкции до границы расчётной схемы или использовать модуль разгрузки E_{ur} вместо модуля первичного нагружения E_0 . Увеличение модуля де-

формации изымаемого грунта приводит к изменению статической схемы работы ограждения котлована, поэтому авторами, наряду с ограничением расчетной области в нижней части, при выполнении практических расчётов применяется уменьшение удельного веса изымаемого грунта, что позволяет снизить выпор дна котлована при моделировании его разработки.

Однако минимизируя подъём дна котлована вследствие разгрузки необходимо отдавать себе отчёт в том, что данный эффект действительно имеет место при производстве земляных работ. Так в [22] даётся ссылка на результаты измерения подъёма дна котлована с естественными откосами, глубиной 10 м, размерами в плане 36×86 м при его откопке [4]. Максимальный подъём был зафиксирован в центральной части котлована и составил 36,2 мм, у откосов – 21,8 мм, неравномерность подъёма составила 0,00065, т. е. осреднённая величина подъёма составила около 0,3 % от глубины котлована. В [23] приводится анализ зарубежных исследований, согласно которым подъём дна котлована может достигать 0,5 % от его глубины. Таким образом, в качестве предварительного критерия достоверности при верификации результатов математического моделирования примем величину подъёма

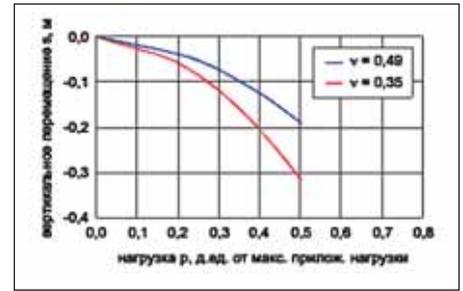


Рис. 1. Влияние коэффициента Пуассона на зависимость $s = f(p)$ [16]

0,5 % от глубины котлована (с запасом на разброс начальных условий).

В качестве примера на рис. 2 приводится расчёт подъёма дна модельного котлована с габаритными размерами в плане 40×40 м, глубиной 6, 9 и 12 м для следующих грунтовых условий: массив грунта сложен из песка, супеси, суглинка и глины (табл. 1). В расчёте моделировалась как поэтапная разработка грунта в котловане, так и разработка котлована одной заходкой на всю глубину.

Из графиков, представленных на рис. 2, видно следующее.

1. Наиболее близкое к экспериментальным данным [4, 23] расчётное значение подъёма дна котлована 0,25–0,5 % от его глубины даёт «Hardening Soil Model» при учёте поэтапности разработки грунта. Ос-

Рис. 2. Математическое моделирование подъёма дна котлована

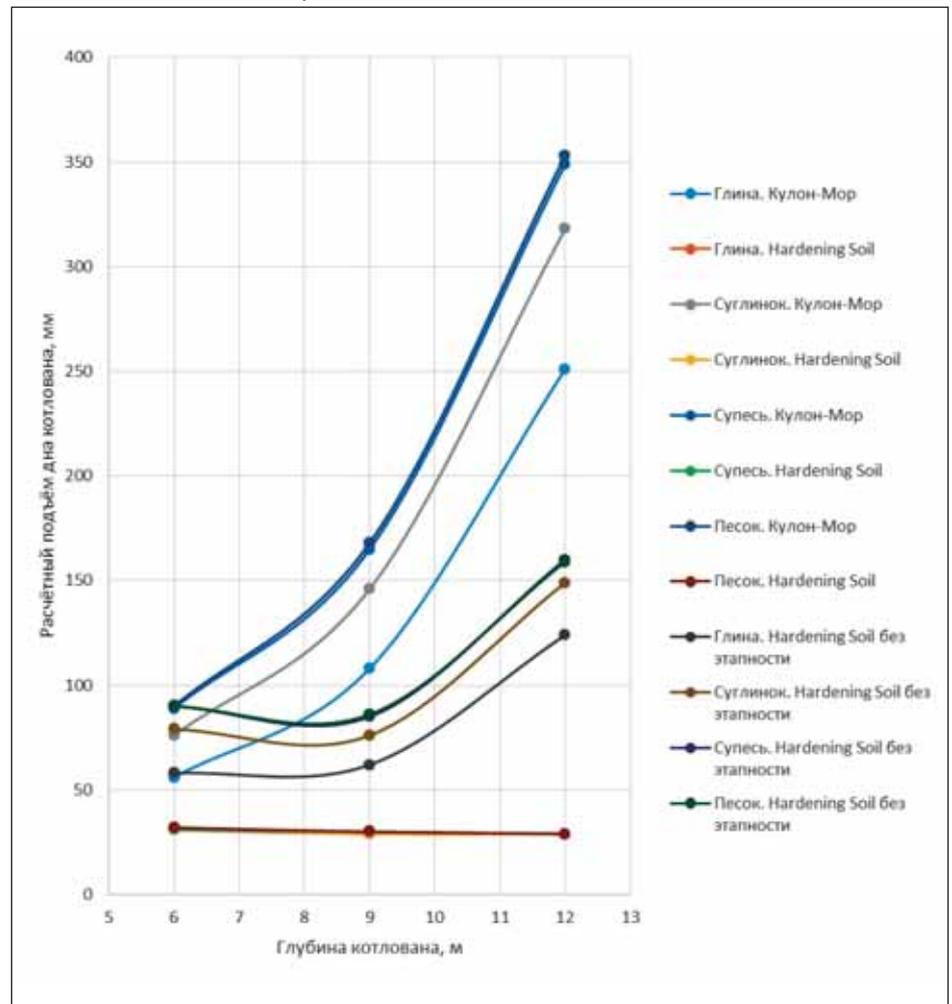


Таблица 1

Принятые в численном эксперименте характеристики грунтов

	Глина	Суглинок	Супесь	Песок
Модуль деформации грунта E , кН/м ²	10000	10000	10000	10000
Коэффициент Пуассона ν	0,42	0,35	0,3	0,3
Удельный вес γ , кН/м ³	19,5	19,5	19,5	19,5
Сцепление c , кН/м ²	33	18	11	2
Угол внутреннего трения φ , °	11	18	22	23
Угол дилатансии ψ , °	0	0	0	0

новые параметры модели принимались по табл. 1, недостающие – назначались программным комплексом Z_Soil по умолчанию. При этом, как видно из рис. 2, абсолютная величина расчётного подъёма дна котлована не зависит от его глубины. Учитывая, что при проведении расчётов использовалась общая расчётная схема, в которой варьировались глубина котлована, тип грунтовых условий и расчётная модель

грунта, можно полагать, что при решении данной задачи первоочередное влияние на абсолютное значение подъёма дна котлована оказал заложенный в программный комплекс алгоритм вычисления модулей деформации при разгрузке.

2. При применении упрочняющейся модели без учёта поэтапности разработки грунта в котловане, результаты близки к расчётам по упругопластической модели.

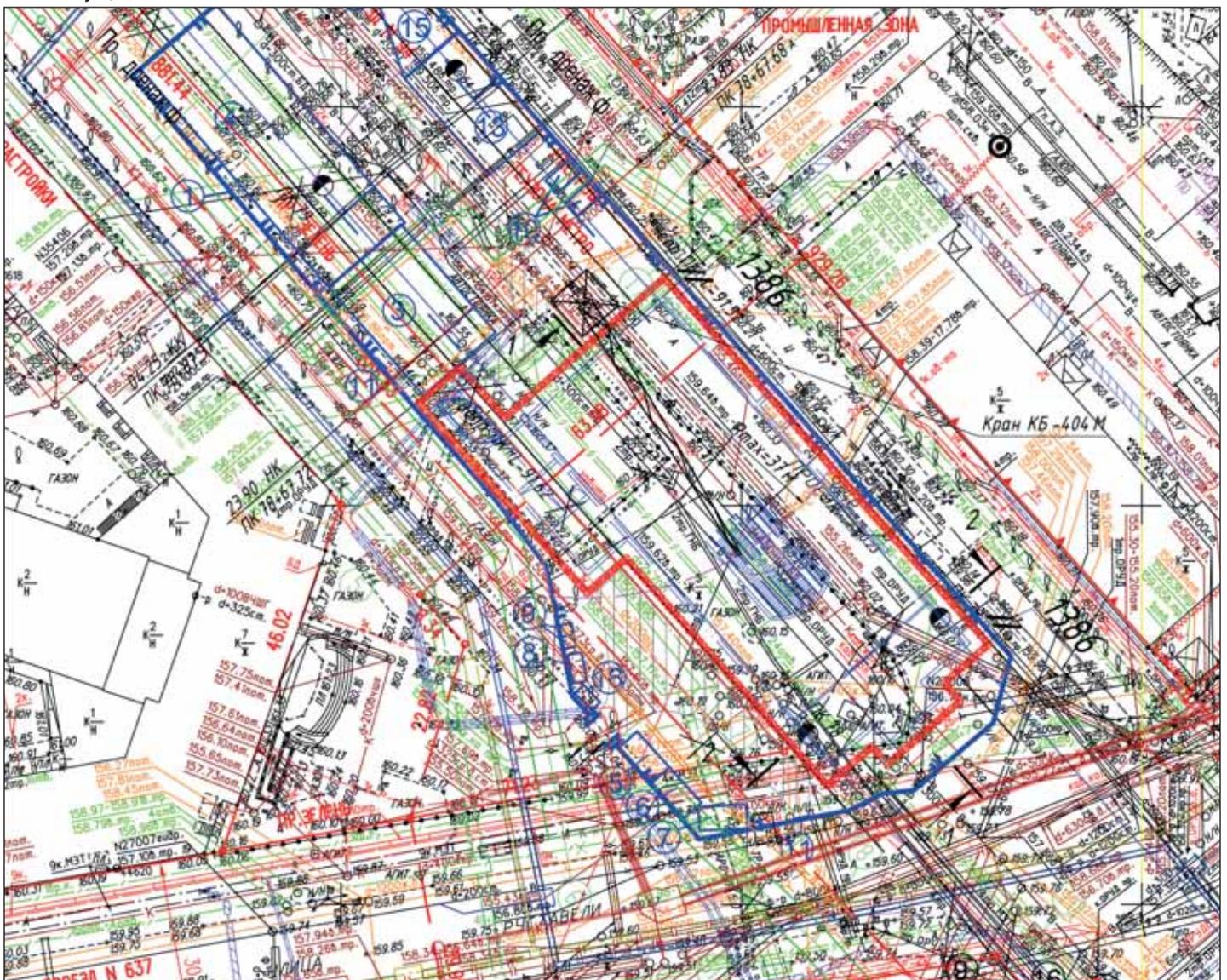
3. Расчёты по модели Кулона-Мора завышают абсолютное значение подъёма дна котлована по сравнению с экспериментальными данными [4] ориентировочно в 3–10 раз в зависимости от глубины котлована и типа грунта: для глин ориентировочно в 3–7 раз, суглинков – в 4–9 раз, супесей и песков – в 5–10 раз.

Упругопластическая модель с упрочнением грунта «Hardening Soil Model» является усовершенствованной версией упругопластической модели Кулона-Мора и учитывает зависимость модуля деформации от напряжённого состояния грунта. Таким образом, поверхность текучести не зафиксирована в пространстве главных напряжений, а может изменяться вследствие пластического деформирования.

В качестве недостатков модели отмечается [10, 21] следующее.

1. Несовпадение результатов численного моделирования компрессионных испытаний с аналитическим расчётом. По мнению [Сливец, 2010] причина этого заключается в том, что при решении системы уравнений для описания компрессионного нагружения

Рис. 3. Ситуационный план



количество неизвестных превышает количество уравнений, и система уравнений имеет решение только при $c = 0$. Другими словами модель наиболее адекватно описывает поведение песчаных грунтов.

2. Модель некорректно описывает поведение слабого глинистого грунта при деформациях формоизменения.

Вторым важным фактором, влияющим на сходимость результатов расчётов с натурными данными, является выбор расчётной схемы. Ряд авторов [9, 19] указывает на значительные расхождения результатов расчётов по плоской и пространственной схемам. Так в [19], применительно к моделированию крупнопролётных выработок машинных залов и трансформаторных подстанций подземных гидроэлектростанций, размещаемых в скальных грунтах, показано, что при решении задачи в плоской постановке в «некоторых зонах» наблюдается превышение перемещений в 2–3 раза по сравнению с трёхмерной задачей. Автором [19] этот эффект объясняется невозможностью учёта в плоских задачах пространственного характера ориентации трещин.

Применительно к устройству котлованов в нескальных грунтах эта проблема рассмотрена в [9], где на основании анализа отечественных и зарубежных литературных источников было показано, что при расчёте ограждений котлованов расчёты в плоской постановке дают завышенные результаты по сравнению с трёхмерными, а также что горизонтальные перемещения ограждения котлована значительно ниже в угловых зонах, по ширине примерно равным глубине котлована. Этот анализ подтверждается результатами наблюдений за горизонтальными перемещениями ограждения котлована при строительстве «нулевого цикла» гостиничного комплекса в Варшаве [7]: за время откопки котлована глубиной 11,5 м максимальное горизонтальное перемещение стены ограждающей конструкции составило 10 мм, что соответствовало прогнозируемому значению 11 мм. В то же время перемещение реперов по углам котлована не превысило 3–4 мм.

Для более подробного исследования степени влияния расчётной схемы на результат расчётов авторами выполнено математическое моделирование влияния котлована вестибюля станции «Бутырская» Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена на близрасположенное здание по адресу: ул. Руставели, д. 19 (рис. 3).

В геоморфологическом отношении рассматриваемый участок относится к пологоволнистой моренной равнине. Естественный рельеф строительства повсеместно изменён планировкой. В геологическом строении принимают участие отложения четвертичной, меловой, юрской и каменноугольной систем. Гидрогеологические условия до разведанной глубины 75 м характеризуются наличием пяти водоносных горизонтов. По степени сложности инженерно-геологичес-

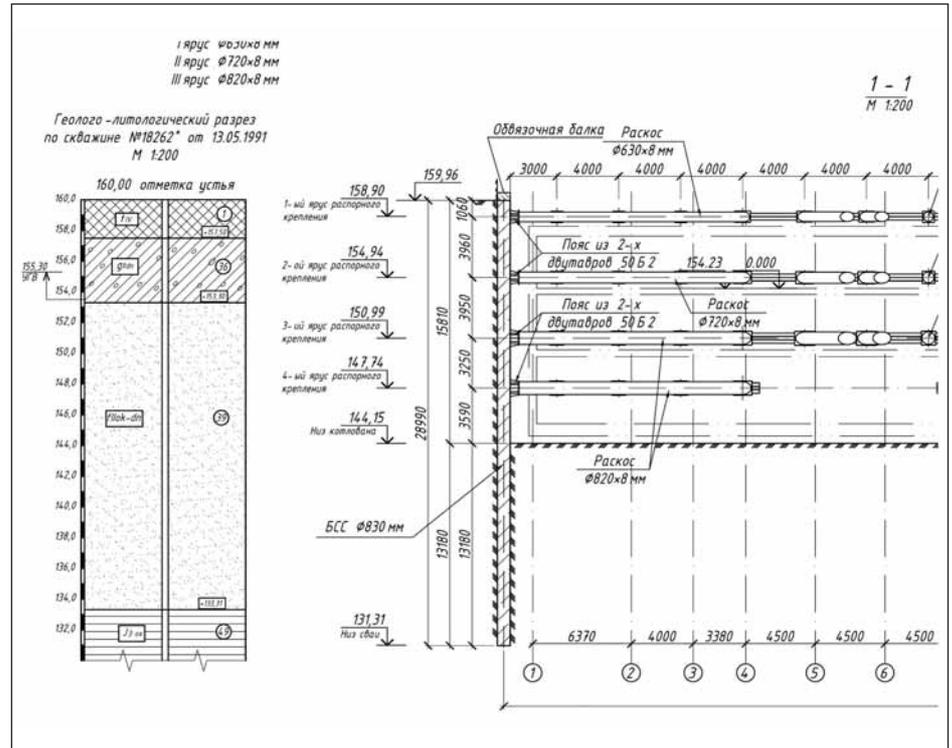


Рис. 4. Разрез по ограждению котлована

кие условия территории строительства характеризуются как сложные – III категория, геотехническая категория – III.

Вестибюль № 2 станции «Бутырская» сооружался открытым способом в котловане глубиной около 16 м (рис. 4).

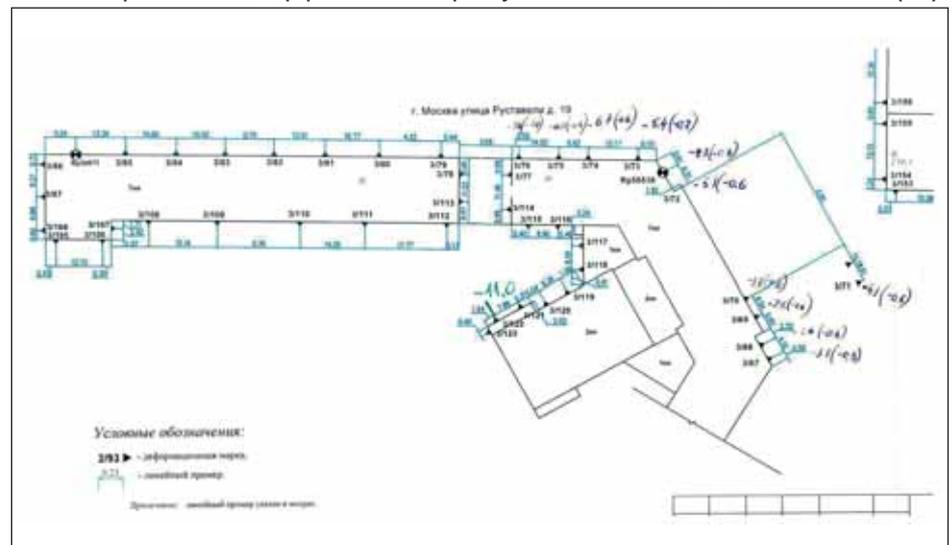
Ограждение котлована из бурсекущихся свай диаметром 830 мм с шагом ~700 мм. Ограждение котлована совершенного типа с заглублением свай на 2 м в юрские глины. Для крепления котлована устанавливаются четыре яруса распорных креплений, включающих расстрелы и раскосы из металлических труб диаметром от 630×8 мм до 820×8 мм, а также продольные пояса из двутавров 50Б2.

На весь период строительства вестибюля был организован геотехнический мониторинг за зданием (рис. 5).

Здание по ул. Руставели, д. 19 – 7-этажное, с подвалом и пристройкой, 11-подъездное, жилое, V-образной формы в плане. Конструктивная схема здания – каркасно-стеновая с наружными несущими стенами и внутренними колоннами. К зданию примыкает 1–2-этажная пристройка театра с подвалом под частью габарита. Конструктивная схема пристройки – стеновая несущими продольными стенами. Предельные деформации здания в результате нового строительства не должны превышать: осадка 20 мм, относительная разность осадок 0,001. Замеренные величины деформаций составляют: максимальная осадка 12,5 мм, относительная разность осадок 0,0014.

Математическое моделирование влияния строительства котлована вестибюля станции «Бутырская» на здание выполнялось в плос-

Рис. 5. План расположения деформационных марок с указанием величин осадок на 30.02.2016 г. (мм)



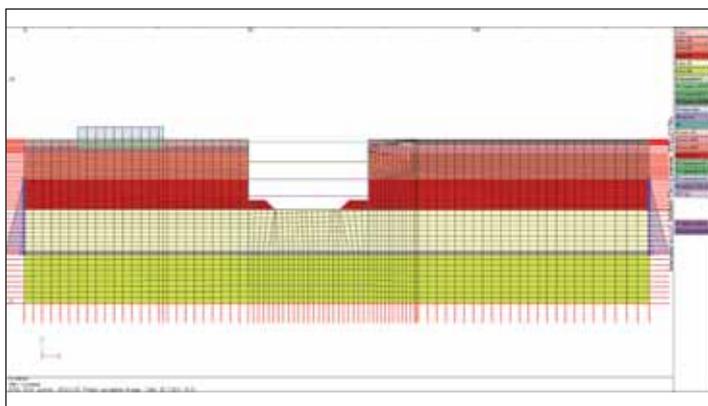


Рис. 6. Расчётная схема в плоской постановке

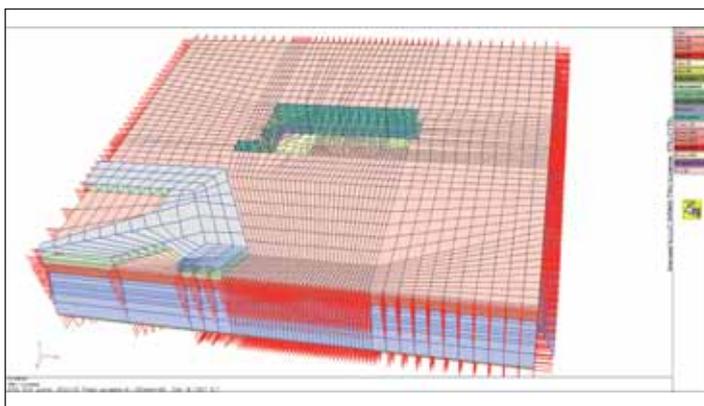


Рис. 7. Расчётная схема в пространственной постановке

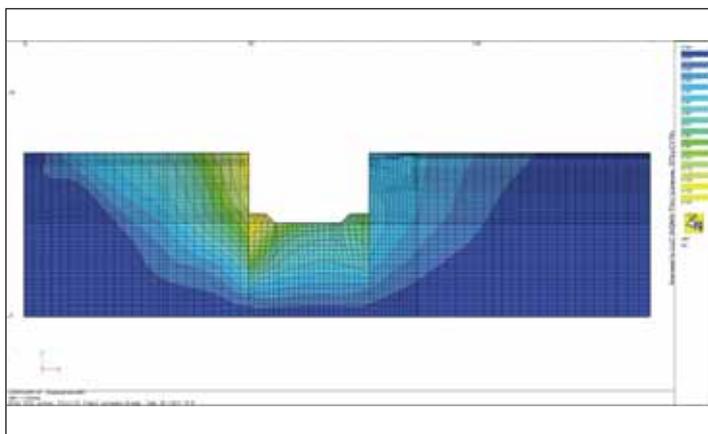


Рис. 8. Абсолютные перемещения (плоская задача)

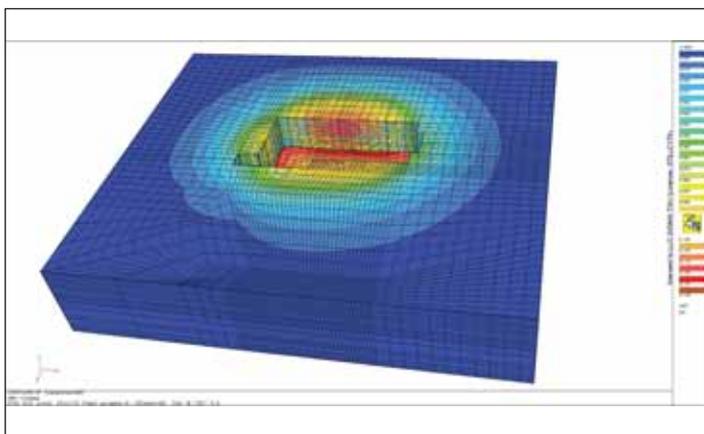


Рис. 9. Абсолютные перемещения (пространственная задача)

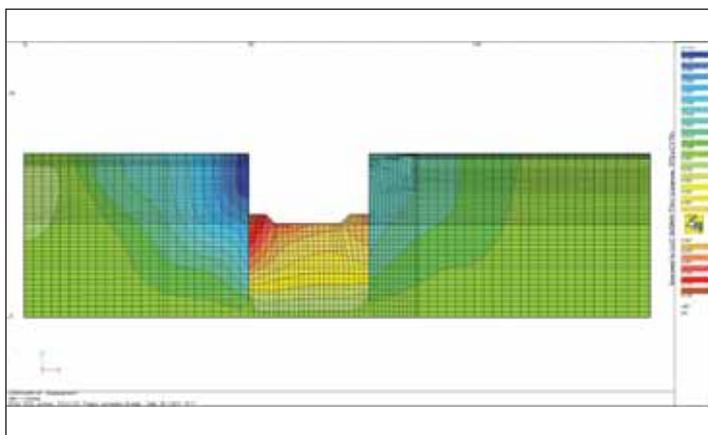


Рис. 10. Вертикальные перемещения (плоская задача)

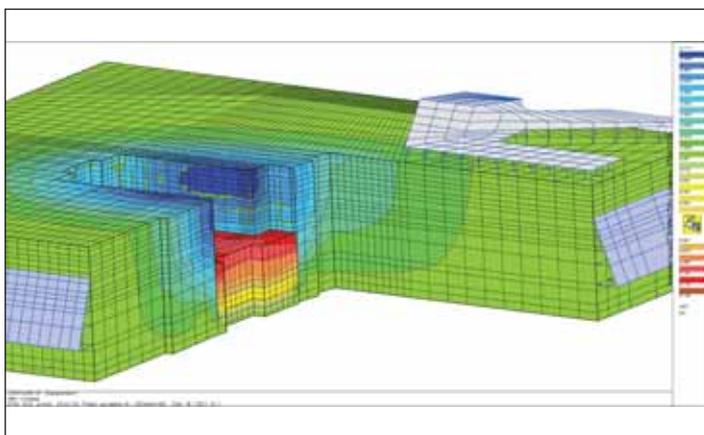


Рис. 11. Вертикальные перемещения (пространственная задача)

Рис. 12. Распределение вертикальных перемещений по зданию (плоская задача, $s_{max} = 43$ мм)

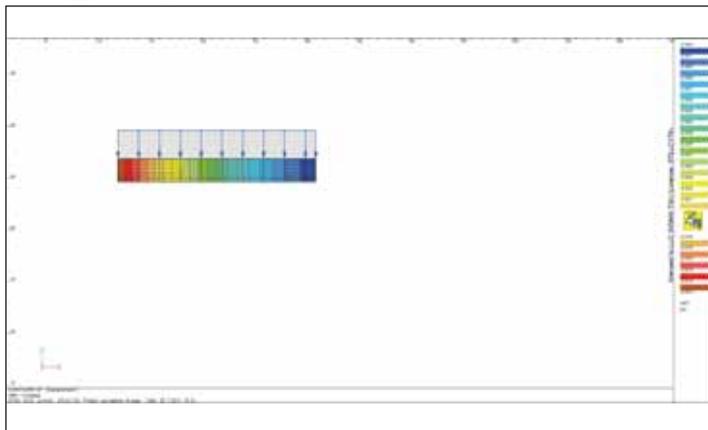


Рис. 13. Распределение вертикальных перемещений по зданию (пространственная задача, $s_{max} = 13$ мм)

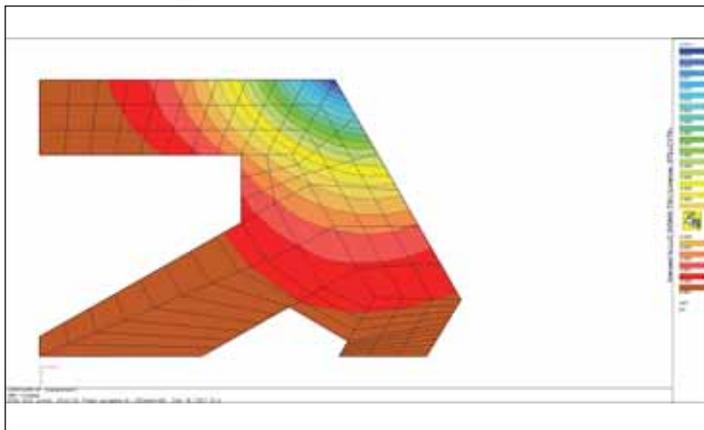


Таблица 2

Адрес	Осадка, мм			Замеренная
	Предельно допустимая	Расчётная		
		Плоская задача	Пространственная задача	
ул. Руставели, д. 19	20	43	13	12,5

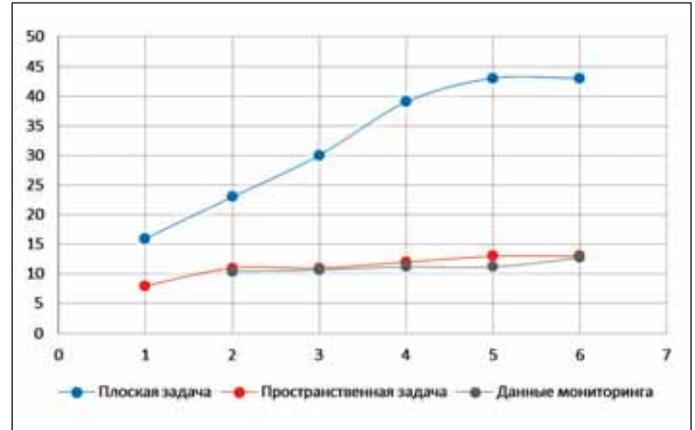


Рис. 14. Сопоставление расчётных и замеренных величин максимальных осадок дома 19 по ул. Руставели с учётом поэтапности строительства

кой (рис. 6) и пространственной постановках (рис. 7) с применением программного комплекса Z_Soil. Поведение грунта под нагрузкой описывалось моделью Мора-Кулона. На рис. 8–13 приводится сопоставление результатов расчетов.

В табл. 2 приводится сопоставление максимальных расчётных и замеренных осадок здания.

На рис. 14 приводится сопоставление расчётных и замеренных данных с учётом поэтапности строительства.

Таким образом, на основании выполненных расчётов можно заключить следующее.

1. При выполнении трёхмерного моделирования влияния строительства глубокого котлована на близрасположенное здание, использование упругопластической модели Кулона-Мора обеспечивает удовлетворительную сходимость с натурными данными.

2. Расчётная зона влияния строительства при решении задачи в плоской постановке примерно в 1,3–1,5 раза больше, чем в трёхмерной.

3. Расчётные осадки здания при математическом моделировании плоской задачи в 3,3 раза больше полученных при трёхмерном моделировании, и в 3,44 раза больше фактически замеренной величины.

4. Расчётные осадки здания при использовании пространственной расчётной схемы примерно на 4 % превышают фактически замеренную величину.

В целом, выполненный анализ литературных источников и проведённые расчёты позволяют сделать следующие выводы.

1. Для выполнения расчетов совместной работы подземного сооружения с вмещающим грунтовым массивом с использованием коммерческих программных комплексов наибольшую сходимость с натурными данными даёт пространственная расчётная схема.

2. Использование аналитических зависимостей механики грунтов завышает расчётные значения осадок зданий примерно на 30–40 % по сравнению с натурными данными.

3. Применение плоской расчётной схемы в 3,3–3,4 раза увеличивает расчётные осадки здания, расположенного на углу котлована по сравнению с трёхмерной расчётной схемой и наблюдаемыми значениями.

Ключевые слова

Геотехнические расчёты, мониторинг.
Geotechnical calculations, monitoring.

Список литературы

1. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
3. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания.
4. Егоров К. Е., Попов Б. П., Кузьмин И. Г. Фактические осадки высотных зданий и срав-

нение их с расчётными. *Материалы к IV Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению.* – М.: Академия наук СССР, 1957.

5. Ильичёв В. А., Коновалов П. А., Никифорова Н. С. Прогноз деформаций зданий вблизи котлованов в условиях плотной городской застройки г. Москвы. – *Основания, фундаменты и механика грунтов*, № 4, 2004. – с.17–21.

6. Леушин В. Ю., Шишкин В. Я., Карабаев М. И., Конохов Д. С., Шмыков В. Е. Анализ деформаций в окружающей застройке при сооружении глубоких котлованов. – *БСТ «Доступное и комфортное жильё»*, № 3, 2011. – с. 57–63.

7. Михальский Т. Применение технологии Jet Grouting в целях обеспечения устойчивости стен глубоких котлованов. Труды Международной конференции по геотехнике «Развитие городов и геотехническое строительство». Санкт-Петербург, 16–19 июня 2008 г. Под ред. В. М. Улицкого. Том 4. – С.-Пб, Издательство «Геореконструкция-Фундамент-проект», 2008. – с. 617–625.

8. Никифорова Н. С. Прогноз деформаций зданий вблизи глубоких котлованов. – *Вестник гражданских инженеров*, № 2(3), 2005. – с. 38–43.

9. Поспехов В. С. Исследование углового эффекта конструкции ограждения котлована. – *Вестник ПНИПУ*, № 2, 2014. – с. 238–248.

10. Сливцев К. В. Определение внутренних параметров модели «Hardening Soil Model». – *Геотехника*, № 6, 2010. – с. 55–59.

11. СМП НОСТРОЙ 3.273-2014. Освоение подземного пространства. Комплексное использование подземного пространства в мегаполисах.

12. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.

13. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

14. СП 120.13330.2012. Метрополитены.

15. СП 248.1325800.2016. Сооружения подземные. Правила проектирования.

16. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Сидоров В. В., Нгуен Х. Х. Влияние граничных условий на расчётное сопротивление грунтов оснований фундаментов и предельную нагрузку на них. – *Геотехника*, № 4, 2012. – с. 12–15.

17. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Соболев Е. С. Анализ данных геотехнического мониторинга плитных фундаментов большой площади. – *Геотехника*, № 4, 2012. – с. 28–33.

18. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). – С.-Пб.: ПИ «Геореконструкция», 2010. – 208 с.

19. Устинов Д. В. Моделирование крупнопролётных выработок на примере подземных ГЭС. – *Вестник МГСУ*, № 4, 2010. – с. 68–74.

20. Шашкин А. Г. Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта – Развитие городов и геотехническое строительство, № 2, 2011.

21. Шашкин А. Г. Критический анализ наиболее распространённых нелинейных моделей работы грунта. – *Инженерная геология*, № 3, 2010. – с. 29–37.

22. Шулятьев О. А. Геотехнические особенности проектирования высотных зданий в Москве. – *Промышленное и гражданское строительство*, № 10, 2016. – с. 17–25.

23. Chang-Yu Ou. «Deep Excavation. Theory and Practice» – 2006 – 532 p.

24. Mestat P., Bourgeois E. Prediction and performance: numerical modeling of sheet pile walls and diaphragm walls. Proceeding of the 3rd International Symposium (IS-Toulouse 2002) «Geotechnical Aspect of Underground Construction in Soft Ground», Toulouse, France, 2002. – p. 15–20.

Для связи с авторами

Конохов Дмитрий Сергеевич
KonuhovDS@mosinzhpoeekt.ru
Казаченко Сергей Андреевич
buckfastx@yandex.ru



СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ «МОНИТРОН-ДГН-2»

SYSTEM FOR AUTOMATED MONITORING OF STRUCTURES USING SENSORS-HYDROSTATIC LEVELING «MONITRON-DGN-2»

С. П. Буюкян, Г. М. Медведев, А. Н. Симутин, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»

G. M. Medvedev, S. P. Buyukyuan, A. N. Simutin, Science-research centre Tunneling Association

Данная статья предлагает ознакомиться с успешно применяемой автоматизированной системой мониторинга, предназначенной для контроля перемещений конструкций зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства в режиме реального времени, также имеющей систему оперативных уведомлений и рассылок отчетных справок посредством e-mail и sms.

This article offers to get acquainted with successfully used an automated monitoring system designed to monitor movement of structures of buildings and structures within the area of impact of construction in real time, as well having a system of rapid notification and mailings accounting inquiries through e-mail and sms.

Реализуемая в последнее десятилетие в Москве и ряде других мегаполисах страны программа интенсивного строительства подземных сооружений транспортного назначения (метрополитен, автодорожные и железнодорожные тоннели) на мелком заложении с особой остротой ставит задачу обеспечения сохранности зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства.

Проводить автоматизированный мониторинг внутри зданий и сооружений с помощью геодезических средств измерений, например, электронных тахеометров, экономически нецелесообразно, так как стены и перегородки в значительной мере ограничивают работу тахеометров, и, чтобы охватить основные элементы конструкций, на один объект вне зоны предполагаемых деформаций придется устанавливать несколько

ко таких дорогостоящих приборов, обеспечивая их сохранность.

Геодезический мониторинг в ручном режиме подразумевает небольшое, не более двух-трех в сутки, число циклов измерений с последующей камеральной обработкой и ручным формированием отчетной справки. При этом, естественно, теряется оперативность информации.

Альтернативным и успешно применяемым с 2015 г. (в Москве под зданиями завода МИГ, торговых центров и родильного дома, Ленинградского проспекта, станцией метро «Савеловская» и др.; в Нижнем Новгороде под зданием-памятником архитектуры; при управлении компенсационным нагнетанием после осадки здания Загорской ГАЭС) средством непрерывного контроля высотного положения основных несущих конструкций эксплуатируемых

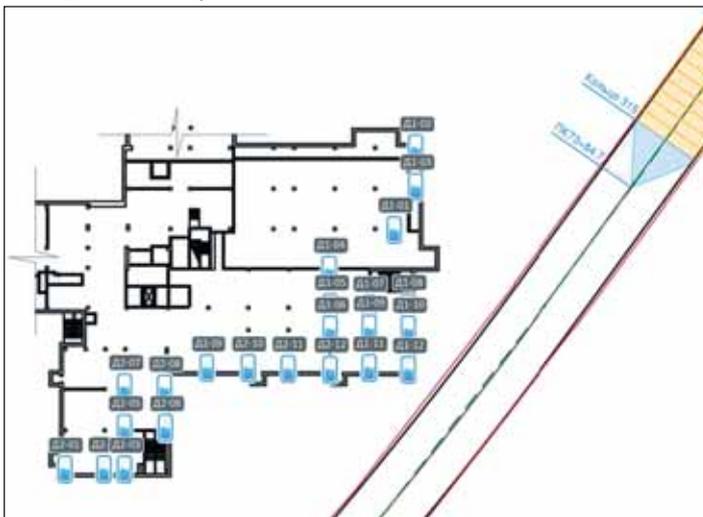
сооружений при проходке тоннелей метрополитена является разработанная под руководством проф. д. т. н. Меркина В. Е. в ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» совместно с АО «ГСПИ» (госкорпорация «РОСАТОМ») сертифицированная в России система «Monitron.xyz» (ТУ26.51.12-001-92485181-2017), базирующаяся на применении датчиков гидростатического нивелирования (ДГН).

На несущие конструкции сооружений в одном горизонте устанавливаются датчики гидростатического нивелирования, соединенные между собой ПВХ шлангами. Один из датчиков вынесен максимально далеко от зоны влияния и является опорным. Система заполняется специальной незамерзающей жидкостью. Датчики подключаются к регистрирующему устройству, откуда полученные данные архивируются на компьютер в уда-

Датчик и регистратор системы «Монитрон-ДГН-2»



План с датчиками и трассой





ленную папку с помощью мобильных интернет-модемов.

Данные с сервиса доступны авторизованным пользователям через браузер из любого места, где есть сеть интернет. Средняя квадратичная погрешность оборудования $\pm 0,5$ мм, время опроса одного канала данных не превышает 15 с (т. е. данные с 20 датчиков обновляются каждые 5 мин.).

Вывод данных осуществляется в графическом виде и в форме отчетных справок.

Предусмотрена настраиваемая система оповещения уполномоченных лиц при приближении фактических деформаций к расчетным и предельным значениям, известным заранее в результате геотехнических расчетов и обследований зданий или сооружений.

Разработанные алгоритм и программное обеспечение системы (сервис «MONITRON. xyz») предусматривают, наряду с данными от датчиков гидростатического нивелирования, анализ и включение в отчетную документацию (в ручном или в автоматическом режиме, в зависимости от используемого на объекте оборудования) внедрение дополнительных модулей мониторинга. Возможна, например, адаптация следующих типов мониторинга:

- геодезический мониторинг (как в ручном режиме, так и с использованием роботизированных тахеометров);



- контроль уровня грунтовых вод с помощью пьезометров;
- контроль наклона конструкций и смещения грунтового массива с помощью инклинометров;
- контроль раскрытия трещин автоматизированными трещиномерами или в ручном

режиме (механические трещиномеры или гипсовые маяки с последующим визуальным мониторингом);

- виброизмерения;
- видеонаблюдение объектов.

Технические возможности и сервис данной системы мониторинга позволяют рекомендовать ее для использования в различных областях строительства, а также при эксплуатации многих ответственных сооружений, требующих постоянного контроля их высотного положения (станции метрополитена, крупные мосты, высотные здания, водонапорные башни, градирни и т. п.).

Ключевые слова

Мониторинг, система автоматизированного мониторинга, монитрон, контроль деформаций, датчик гидростатического нивелирования.

Monitoring, automated monitoring system, monitron, deformation control, hydrostatic level sensors.

Для связи с авторами

- Буюкян Сурен Петросович busupe@list.ru
- Медведев Григорий Михайлович medvedev@nizta.ru
- Симутин Алексей Николаевич simutin@inbox.ru



ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПЕНОГЕНЕРАЦИИ ОТ КОМПАНИИ «МС BAUCHEMIE»

INNOVATIVE WAY OF FOAM GENERATION FROM THE COMPANY MC BAUCHEMIE

С. Ф. Андреев, инженер «Эм-Си Баухеми»

S. F. Andreev, engineer MC Bauchemie

Эта статья представляет собой обзор пеногенератора производства компании «МС-Bauchemie». Принцип работы пеногенератора, конструктивные особенности. Опыт изменения параметров пеногенерации на объекте Мосметростроя.

This article presents the overview of the foam generator manufactured by MC-Bauchemie, the principle of the foam generator, design features. It also discusses the experience of changing parameters of foam generation at the site of Mosmetrostroy.

Современное строительство тоннелей метро не представляется без применения современных тоннельных буровых машин (ТБМ), работающих в составе проходческого комплекса. Тоннелепроходческие комплексы подразделяются на ТБМ с открытым лбом забоя и ТБМ с герметичной перегородкой, которая разделяет рабочую и забойные зоны тоннеля. В сложных геологических условиях, как правило, применяют ТБМ с герметичной перегородкой. Данные ТБМ обеспечивают безосадочную технологию строительства тоннелей, создавая в забойной камере избыточное давление, которое, в свою очередь, удерживает лоб забоя от обрушения, что может привести к аварии и оседанию дневной поверхности. Лоб забоя удерживают двумя способами: с помощью сжатого воздуха и при помощи вспенивания разработанного грунта в забойной зоне. Боль-

шее распространение получили ТБМ с грунтопригрузом лба забоя и с применением пеногенерации для кондиционирования грунта. Эти тоннелепроходческие комплексы могут использоваться почти во всех грунтах и практически в любых гидрогеологических условиях.

Основные понятия пеногенерации

Кратность пены FER (Foam Expansion Rate – степень расширения, доля воздуха в пене) задается компьютерной системой ТПМК соотношением объемных расходов ликвида и сжатого воздуха.

К примеру, часто применяющееся соотношение 1:7 теоретически должно создавать кратность пены $FER_{теор} = 8$. Но это на практике не достигается, и фактически $FER_{факт} > 8$.

Соотношение $FER_{теор} / FER_{факт}$ считаем коэффициентом полезного действия КПД пеногенератора:

$$КПД = FER_{теор} / FER_{факт} \quad (1)$$

Действительно, пеногенератор должен создавать мелкоячеистую пену с равными по размеру пузырьками. Такая пена наиболее устойчива как в начальное время своего образования, так и в дальнейшем. Процесс ее разрушения происходит за счет слияния пузырьков, их укрупнения, вплоть до соединения с атмосферой, и с образованием осадка жидкой фазы от разрушенной пены. Наличие крупных воздушных полостей учитывается в объеме пены при натурном испытании, но их объем получается не за счет сжатого воздуха, а за счет захвата воздуха из атмосферы. До сих пор в России проводились лишь испытания различных пенопродуктов по оптимальной концентрации, кратности и периоду полураспада пены для сравнения ее стоимостного расхода [1, 2].

Специалисты Тоннельной ассоциации России считают, что одним из направле-

Рис. 1. Награда Международной тоннельной ассоциации (ИТА) разработчикам инновационного пеногенератора. 2014 г., Зальцбург



ний экономии пенных реагентов является внедрение пеногенераторов с наиболее высоким коэффициентом полезного действия за счет стойкости пены.

Например, мировое тоннельное сообщество высоко оценило работу пеногенератора фирмы «МС Ваучемие». Разработчики инновационного пеногенератора удостоились награды Международной тоннельной ассоциации (ИТА) в 2014 г. в Зальцбурге (рис. 1).

Особенности принципа действия инновационного пеногенератора

Пеногенератор производства МС-Ваучемие принципиально отличается от штатных пеногенераторов, установленных на ТПМК Herrenknecht AG. Отличительной чертой пеногенератора является способ производства пены.

Принцип работы заключается в том, что размер пузырьков в пене задается заранее. Сжатый воздух проходит через специальную пористую мембрану с определенным размером пор (отверстий) и рабочая жидкость (смесь воды и пенного реагента в заданной пропорции) насыщается сжатым воздухом в пеногенераторе.

Ресурс работы пеногенератора МС в разы больше ресурса штатного пеногенератора, т. к. он не требователен к качеству воды, в нем нет деталей, которые нужно обслуживать. Он работает с любыми материалами, которые могут использоваться для стабилизации лба забоя. В качестве материалов для стабилизации лба забоя в мировой практике используются пенные реагенты, бентонитовые глины, тонкомолотые наполнители и т. д.

Пеногенератор устанавливается взамен штатного без внесения изменений в систему пеногенерации. Можно установить на любой ТПМК с грунтопригрузом любого производителя.

25 августа 2016 г. по инициативе заказчика АО «Мосметрострой» были проведены сравнительные испытания пеногенераторов МС производства Германия и штатных пеногенераторов на ТПМК S-771. Испытания проводились в натуральных условиях на объекте АО «Мосметрострой»: северо-восточный участок Третьего пересадочного контура от ст. «Авиамоторная» до ст. «Электроводская».

Ход испытаний

Установили на ТПМК четыре пеногенератора производства МС Германия (рис. 2).

Сравнивали поочередно работу пеногенераторов МС и штатных пеногенераторов.

Работу пеногенератора по производству пены оценивали следующим образом.

1. Выставив на компьютере ТПМК одинаковые параметры (концентрация пенопродукта 1,5 %, вода-воздух 1:7), производили отбор пены в ведра для определения плотности получаемой пены (весовым методом)

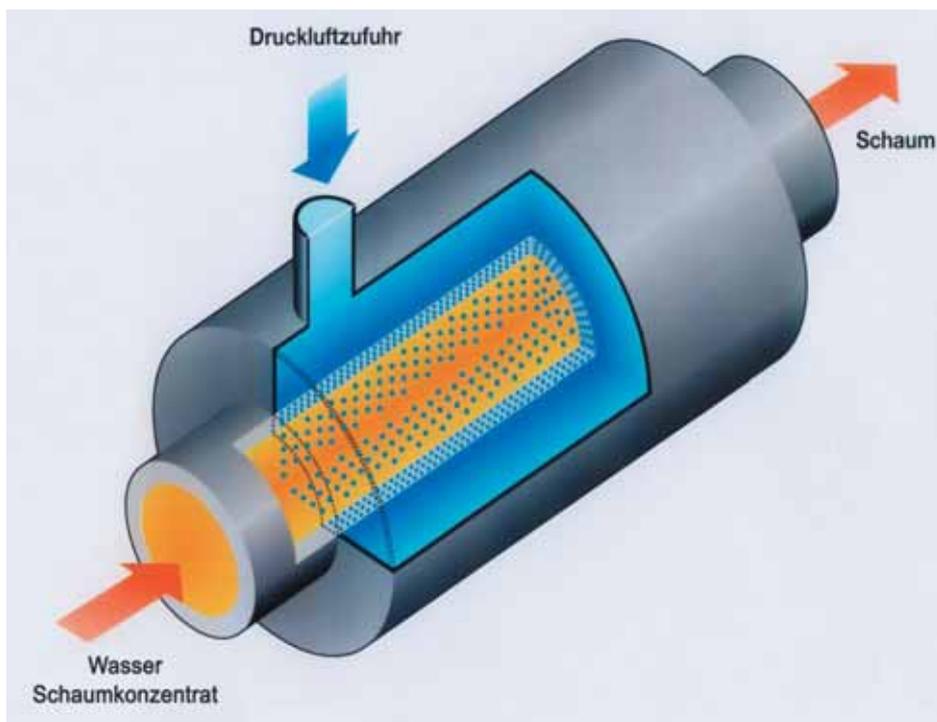


Рис. 2. Принципиальная схема работы пеногенератора МС-Ваучемие

с последующим пересчетом на кратность пены $FER_{факт}$

2. Затем параметры пенопродукта меняли от 0,75 до 2 % и замеряли изменения плотности пены весовым методом.

3. Замеряли изменения плотности пены в зависимости от соотношения воды + пенопродукта и воздуха.

Вывод, полученный исследователями: с пеногенераторами производства МС, Германия получена разная плотность пены в зависимости от разного количества пенопродукта, а штатные пеногенераторы производят одинаковую пену независимо от ввода количества пенопродукта.

Рис. 3. Инновационные пеногенераторы от МС



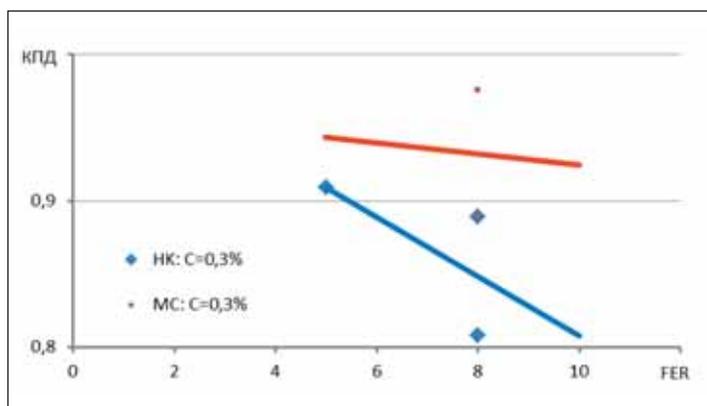


Рис. 4. КПД пеногенераторов НК и МС при концентрации C = 0,3 % от FER

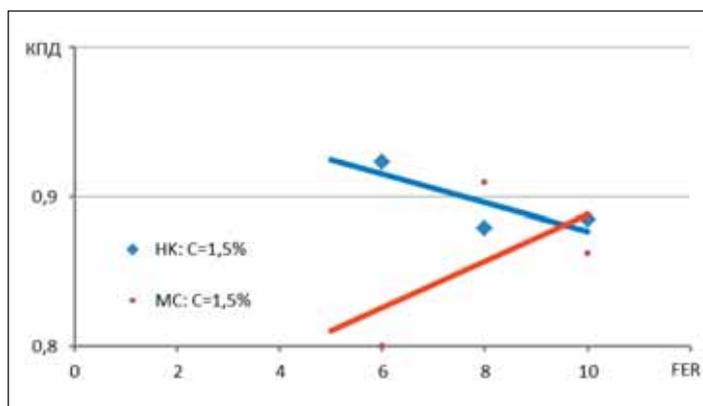


Рис. 5. КПД пеногенераторов НК и МС при концентрации C = 1,5 % от FER

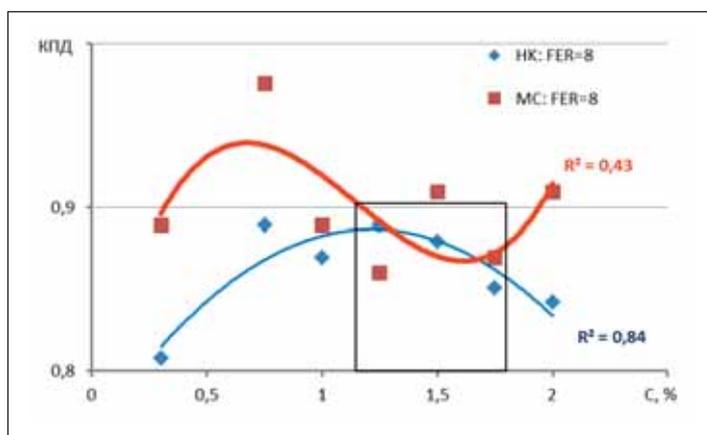


Рис. 6. КПД пеногенераторов НК и МС при FER = 8 от концентрации пенопродукта C (%) в ликвиде

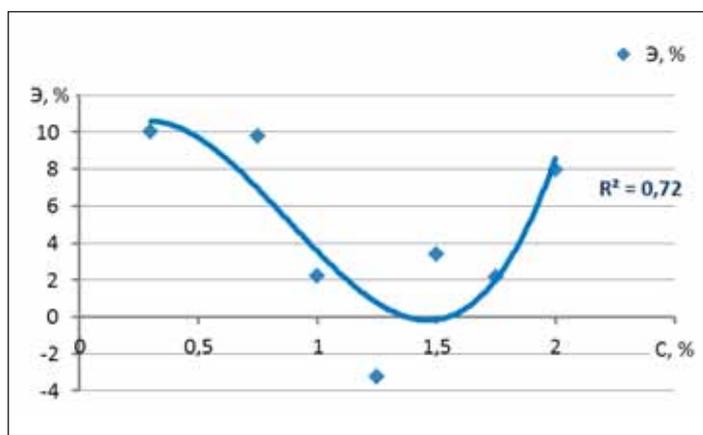


Рис. 7. Экономический эффект Э (%) от концентрации C (%) пенопродукта в воде

Результаты испытаний

Детально проанализируем результаты исследований.

Коэффициент полезного действия пеногенераторов: штатного (НК) и нового (МС) определяем по формуле (1). Количество исследований было весьма ограничено, чтобы найти значимые количественные зависимости КПД от получаемой кратности пены FER.

Что касается качественной оценки, то на графике рис. 4 прослеживается более высокий уровень КПД для пеногенератора МС при низкой концентрации пенопродукта (C = 0,3 %). Это говорит о большей эффективности работы пеногенератора МС в области малых концентраций пенопродукта, что позволяет использовать новый пеногенератор МС при экономических концентрациях пенопродукта и кратности пены от 5 до 10.

При концентрациях пенопродукта выше среднего уровня (C = 1,5 %) КПД пеногенератора НК выше, чем у МС, однако это достигается при малой, а значит менее экономичной кратности пены (FER = 5–8) (рис. 5). В этом случае получаемую экономическую эффективность можно поставить под сомнение, поскольку она выходит за рамки задачи экономии пенопродукта (C >, FER <). Тем более что при кратностях пены FER = 8–10 показатели КПД обоих пеногенераторов фактически совпадают.

При установлении одной теоретической кратности пены FER = 8 (заданное соотношение ликвид/воздух = 1:7) проводим сравнительный анализ КПД пеногенераторов НК и МС в зависимости от концентрации пенопродукта в воде (в ликвиде), которая варьировалась от 0,3 до 2 %.

На рис. 6 показаны графики зависимостей КПД пеногенераторов НК и МС. Точки соответствуют полученным экспериментальным данным, графики аппроксимированы полиномиальными кривыми для получения областей экстремумов со значимой достоверностью аппроксимации R².

В середине графика выделен интервал концентраций (C = 1,2–1,8 %), где КПД обоих пеногенераторов КПДНК и КПДМС фактически совпадают, то есть находятся в области допустимой погрешности измерений. Однако для интервалов малых и больших концентраций C пенопродукта КПД нового пеногенератора становится выше.

Это обстоятельство создает предпосылки для получения экономического эффекта Э, основанного на % экономии пенопродукта:

$$\text{Э} = 100 \times (\text{КПДМС} - \text{КПДНК}) / \text{КПДНК}, \% \quad (2)$$

На рис. 7 приведен график экономического эффекта Э, получаемого от замены пеногенераторов НК на пеногенераторы МС, в зависимости от концентрации пенопродукта в воде (ликвиде).

Выводы

1. Мировое тоннельное сообщество высоко оценило работу пеногенератора фирмы «МС Bauchemie».

2. Результаты испытаний показали, что экономический эффект, получаемый от замены пеногенераторов НК на пеногенераторы МС с более высоким КПД, достигает 8–10 % при концентрациях C < 1–0,3 и C > 1,8–2 пенопродукта в воде.

Ключевые слова

Кондиционирование грунта, ТПМК с грунтопригрузом, пеногенератор МС-Bauchemie, FER, FIR.

Soil conditioning, EPB TBM, foam generator from MC Bauchemie, Foam Expansion Rate, Foam Injection Rate.

Список литературы

1. Федунец Б. И., Мазеин С. В., Потатов М. А. Обоснование применения по строительно-технологическим воздействиям пеногрунтовой компенсации в щитовом забое // *Метро и тоннели*. – 2012. – № 5. – С. 18–21.
2. Катралова Л. М., Пенджиев Э. Д., Прошовкин Е. И., Машина Л. С., Новиченко А. Л., Самарский С. В. Разработка оборудования и методов исследования кондиционеров грунта для ТПМК с грунтопригрузом // *Метро и тоннели*. – 2014. – № 1. – С. 32–34.

Для связи с автором

Андреев Сергей Федорович
vilpaz2007@rambler.ru



ТРАДИЦИОННЫЙ И СКОРОСТНОЙ МОБИЛЬНЫЙ МЕТРОПОЛИТЕН. ЧТО СТРОИТЬ В XXI ВЕКЕ?

TRADITIONAL AND FAST MOBILE METRO. WHAT TO BUILD IN THE XXI CENTURY?

В. А. Мнацаканов, генеральный директор ООО «ТОМАК, ЛТД», член-корр. Российской инженерной академии, к. т. н.
V. A. Mnatsakanov, General Director of LLC «TOMAK, LTD», corresponding member of the Russian Engineering Academy, Cand. of Tech. Sci.

Проведено сравнение традиционного метрополитена с инновационной технологией скоростной мобильный метрополитен. Показано, что стоимость и сроки строительства мобильного метро в 1,8 раза меньше, его станции занимают меньшую территорию города, объём грунта, вынимаемого при их постройке, в 3,6 раза меньше, скорость поездки в 2 раза выше, расход электроэнергии в 3 раза меньше, безопасность поездки выше, инвалиды-колясочники смогут им пользоваться, сократятся транспортная усталость населения и пробки на дорогах города.

Comparison of the traditional metro with the innovative technology of high-speed mobile metro is carried out. It is shown that the cost and terms of construction mobile metro are 1.8 times smaller, its stations occupy a smaller area of the city, the volume of soil taken out during their construction is 3.6 times less, the trip speed is 2 times higher, the electricity consumption in 3 times less, the safety of the trip is higher, disabled wheelchair users will be able to use it; the transport fatigue of the population and traffic jams on the roads of the city will be reduced.

Традиционный метрополитен (ТМ) – это железная дорога, проложенная под землёй. Для пользования ею пассажиры спускаются под землю на эскалаторах или по ступенькам. Движение поездов ТМ подчиняется правилам обычной железной дороги.

Скоростной мобильный метрополитен (СММ) – это необычная железная дорога. Хотя она и проложена под землёй, но имеет наземные станции. СММ не нужны эскалаторы и ступеньки, он не подчиняется существующим железнодорожным правилам. Более того – он «нарушает» их на каждом перегоне, и за счёт этого становится вдвое более скоростным, более удобным и более энергоэкономным по сравнению с ТМ. Нарушения железнодорожных правил в СММ становятся новыми правилами, которые нельзя нарушать и которые обеспечивают большую безопасность перевозок.

Главное, что потребовалось сделать для создания новой транспортной технологии СММ – отказаться от основного принципа обычной железнодорожной технологии (ОЖТ), которая считает безопасной работу поезда на горизонтальном пути, а уклоны и подъёмы делит на «вредные» и допустимые. ОЖТ рекомендует: при строительстве железной дороги максимально выравнивать профиль пути, на «вредных» уклонах подтормаживать поезд, не позволяя ему разогнаться выше скорости, допустимой на «вредном» уклоне.

В технологии СММ всё наоборот: спуски и подъёмы специально проектируются так, что становятся не «вредными», а полезными, несмотря на то, что они более «крутые», чем «вредные» уклоны в ОЖТ. Более того, при спуске

метропоезда СММ с наземной станции в подземный тоннель по специально спроектированному полезному уклону машинист метропоезда не должен подтормаживать. Напротив, он должен включать тяговые двигатели, чтобы ускорить естественный разгон состава на полезном уклоне. Таким образом, разгон метропоезда СММ обеспечивается за счёт двух факторов: гравитационных сил и тяговых сил, создаваемых электродвигателями. Гравитационные силы существенно помогают тяговым двигателям выполнять транспортную работу. Поэтому при разгоне метропоезда на полезном уклоне из тяговой сети потребляется гораздо меньше электроэнергии, чем при разгоне на горизонтальном пути.

По закону кинетической энергии ($\Delta = mv^2/2$) можно подсчитать, что при разгоне метропоезда массой m на горизонтальном пути до скорости $V = 80$ км/ч из сети будет потреблено 6400 условных единиц энергии ($80^2 = 6400$ у.е.). Примем величину 6400 у.е. за 100 %.

При разгоне по полезному уклону, например, с высоты $h = 14$ м (скорость в конце спуска $V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 14} = 16,57$ м/с = 60 км/ч) метропоезд разгонится до 60 км/ч за счёт «своей» потенциальной энергии, которая составляет 3600 у.е. ($60^2 = 3600$). А от 60 до 80 км/ч он будет разгоняться за счёт энергии, потребляемой из сети, и израсходует при этом $(80^2 - 60^2) = 2800$ у.е. Т. е. 56 % энергии разгона (3600 у.е.) обеспечат силы гравитации и только 44 % энергии разгона (2800 у.е.) будет потреблено из сети тяговыми двигателями ($3600 + 2800 = 6400 = 100$ %).

Такова, примерно, физика энергетического процесса разгона, происходящего в технологии СММ, которая обеспечивает экономию электроэнергии 56 %.

Очевидно, что при таком, более сложном, чем у ТМ, процессе сохранения и превращения потенциальной и кинетической энергии метропоезда, который имеет место в технологии СММ, проектирование его трасс, систем электроснабжения и характеристик тяговых двигателей метропоезда должно выполняться одновременно и по единой методике.

Самым важным технологическим отличием СММ от ТМ является позиционирование пола вагонов метропоезда в вертикальной плоскости. Оно необходимо, чтобы исключить из технологии СММ ступеньки и эскалаторы. Чтобы пассажирам было максимально комфортно и чтобы они выходили из метропоездов не на платформы подземных станций и поднимались затем вверх на эскалаторах, а на «нулевые платформы» наземных станций, уровень которых уже совмещён с уровнем окружающих наземных станций СММ пешеходных тротуаров. Это не требует ступенек и эскалаторов, повышает скорость и безопасность поездки, очень удобно для всех категорий населения, включая инвалидов и лиц с ограниченной подвижностью. И резко снижает транспортную усталость населения, которая является сегодня одной из главных проблем крупных городов и мегаполисов.

При применении в СММ вертикальном позиционировании вагонов отпадает необходимость в подземных станциях и эскалаторах, которые увеличивают стоимость 1 км

трассы ТМ более чем на 50 % и его эксплуатационные расходы более чем на 30 %.

Талантливые английские шахтёры, которые в XIX веке по примеру своих подземных железных дорог отважились разработать и внедрить в городе традиционный метрополитен, даже не мечтали о той совершенной электрической тяге, которая применяется в XXI веке. Поэтому первый в мире Лондонский метрополитен был создан на основе имевшихся в XIX веке шахтёрских технологий, а его поезда водили паровозы. Таким он и остался до сих пор, только паровозы заменили вагонами с электротягой, а лифты эскалаторами.

Мы подошли к разработке СММ с позиций электрической тяги XXI века и на уровне современных технологий: убрали из ТМ всё «лишнее», объединили проектирование, строительство и эксплуатацию и добавили последние достижения в области тягового привода, вертикального и горизонтального позиционирования вагонов. Это сделало СММ гораздо более экономным в строительстве и эксплуатации и, как следствие, самокупаемым, позволяющим строить его на коммерческой основе.

Анализ технологического процесса ТМ показал, что «лишними» в нём являются самые трудоёмкие и самые дорогостоящие составляющие: подземные станции и эскалаторные хозяйства. Оказалось, что освобождённый от них «облегчённый» СММ может работать более безопасно, более устойчиво

и эффективно, чем шахтёрский метрополитен XIX века.

Главный недостаток ТМ в том, что на нём надо делать минимум шесть пересадок.

1. С наземного вестибюля на эскалатор.
2. С эскалатора на подземную станцию отправления.
3. С подземной станции отправления на вагон.
4. С вагона на подземную станцию прибытия.
5. С подземной станции прибытия на эскалатор.
6. С эскалатора на наземный вестибюль.

Это увеличивает время поездки и вызывает транспортную усталость пассажиров. Оказалось, что при существующих сегодня технологиях нет нужды в четырех пересадках (позиции 1, 2, 5, 6), в которых участвуют медленно движущиеся эскалаторы и подземные станции.

Житель мегаполиса XXI века избалован сервисом, поэтому эскалаторы и подземные станции мешают ему считать шахтёрскую технологию XIX века удобной и приемлемой в XXI веке. В результате он стал отказываться от поездов на метро и возник новый рынок: продажа опустевших станций ТМ вместе с эскалаторами и подземными станциями. Их начали продавать даже в Лондонском метрополитене. Одну из таких станций в Лондоне купил украинский олигарх. Он переоборудовал её подземную часть под склад, а на земле построил высотный дом и выгодно всё продал. Это же в

перспективе произойдёт и со станциями ТМ, которые строятся сегодня. Поэтому при их проектировании необходимо заранее предусматривать предстоящую «модернизацию».

В XXI веке на метро не должно быть ни ступенек, ни эскалаторов: надо строить только безэскалаторное метро без подземных станций и всего с двумя пересадками: с наземной станции отправления в вагон и из вагона на наземную станцию прибытия. Это резко снизит транспортную усталость населения, повысит скорость и безопасность поездки, сделает облегчённый метрополитен востребованным и самокупаемым.

Характеристики СММ в сравнении с ТМ:

- сроки проектирования и строительства – в 2 раза меньше, чем у ТМ;
- объём грунта, вынимаемого при постройке станций – в 3 раза меньше, чем у ТМ;
- стоимость строительства 1 км – в 2 раза меньше, чем у ТМ;
- скорость передвижения по городу – в 2 раза быстрее, чем на ТМ;
- расход электроэнергии – в 3 раза меньше, чем у ТМ;
- безопасность эксплуатации – многократно выше, чем у ТМ;
- транспортная усталость – гораздо меньше, чем у ТМ.

Можно уверенно сказать, что сегодня ни в одном городе мира нет пока внеуличного транспорта, который мог бы конкурировать со столь

Фрагменты работы технологии СММ



совершенным СММ, с точки зрения физики энергетического и технологического процессов: разгон на спуске, торможение на подъёме, посадка и высадка пассажиров только на «нулевые платформы», расположенные на уровне окружающих станции пешеходных тротуаров. Все существующие и предлагаемые городские внеулические транспортные системы (лёгкое эстакадное метро, струнное метро, монорельс и др.) по показателям назначения, удобству и комфорту поездки уступают СММ в 2–3 раза именно потому, что физика и логистика их технологических процессов несовершенны.

В России технология СММ представлена отдельными «кусками»: профиль пути с уклонами и подъёмами 60 % (Петербургский метрополитен), инновационный электроподвижной состав, разработанный и испытанный с участием наших специалистов (проект «НеВа»), логика управления режимами движения метропоездов и т. п. Это позволило полномасштабно, при максимальной загрузке вагонов, испытывать не только штатные режимы работы СММ, но и возможные в эксплуатации аварийные режимы новой технологии. И на этой основе разработать методику её проектирования.

Основные компоненты СММ надо правильно «сложить» при проектировании. Это обеспечит ускоренное и удешевлённое строительство, повышение скорости поездки, улучшенные тягово-энергетические показатели, пониженное энергопотребление, оптимальные формы кривых, уклонов, подъёмов и т. п. Всё это вместе представляет собой уникальную инновационную строительную и транспортную технологию СММ, которая в XXI веке необходима всем крупным городам и мегаполисам мира. Она заменит устаревший в XXI веке шахтёрский метрополитен и будет противостоять пробкам на дорогах, хронической нехватке парковок, стрессам населения, его повышенной транспортной усталости и пр.

СММ достойно украсит любой крупный город и мегаполис мира, доведёт его транспортную систему практически до совершенства. Имея технологию СММ, продолжать проектировать и строить ТМ также неуместно, как при наличии мобильных телефонов строить в городе будки со стационарными телефонами.

Важнейшее для города достоинство инновационной технологии СММ по сравнению с ТМ состоит в том, что СММ – это самокупаемый проект. Он может быть построен практически в каждом крупном городе мира на коммерческой основе. Проект ТМ принципиально убыточен до тех пор, пока не будет построено 30 км его линий. Только после достижения этих размеров он начинает становиться конкурентоспособным по сравнению с наземным городским транспортом и самокупаемым. Это показано нами в журнале *«Метро и тоннели» № 1, 2010 г.* на примере статистики роста «малых» метрополитенов России и стран СНГ от первых 7–9 до 27–35 км. Из неё следует, что эксплуатация первых 30 км линий ТМ даёт ежегодно большие убытки. А набирает ТМ длину линий до 30 км десятилетиями. Это – главная причина

того, что ТМ сегодня финансово недоступен крупным городам. В реальной жизни получается так, что сумма убытков, которые приносит городу ТМ за период эксплуатации при длине линий менее 30 км, превышает стоимость его постройки.

Основные режимы работы технологии СММ проверены нами на Петербургском метрополитене при приёмочных испытаниях инновационного метропоезда проекта «НеВа». Подробное ТЭО самокупаемости проекта СММ представлено в журнале *«Метро и тоннели» № 1, 2010 г.* Оно показывает, что каждый крупный город, в котором есть устойчивый пассажиропоток 100 тыс. пасс./сутки и более, может построить самокупаемую за шесть-восемь лет линию СММ на кредитной основе. А далее, не дожидаясь помощи бюджета, на доходы от перевозок первой линии СММ продолжить строить новые самокупаемые линии. И развивать, таким образом, свою транспортную систему не тупиковым путём, как у большинства городов с радиально-кольцевой схемой пассажиропотоков, а как город, новые схемы пассажиропотоков которого будут формироваться в XXI веке оптимально проложенными маршрутами линий СММ. Это полезно преобразит не только схему пассажиропотоков, но и саму структуру любого города.

СММ даст крупным городам колоссальный ресурс и «толчок» в развитии. Он станет таким, которому по масштабам и темпам роста не было и нет пока равных в мире. Жители городов с СММ смогут быстро и комфортно передвигаться по городу, почти не приобретая транспортной усталости. Так, будто они побывали в транспортном супермаркете, сделали транспортную покупку, получили удовольствие и немного отдохнули во время комфортабельной поездки на СММ.

Инвалиды и лица с ограниченной подвижностью будут самостоятельно пользоваться СММ, почувствуют вкус к жизни в крупном городе, который перестанет быть для них «бетонной» клеткой. Правительства стран тоже будут довольны: не надо будет тратить огромные суммы из федерального бюджета на развитие транспорта в регионах, выслушивать и вычитывать из печати и интернета недовольство населения регионов низкими темпами развития скоростного внеулического транспорта, плохой экологией, высокой транспортной усталостью и т. п.

Улучшится экология крупных городов: в них станет меньше личных автомашин, сократятся их пробеги, людям станет легче жить и дышать, резко сократится смертность от наезда автомобилей и от ухудшенной ими экологии.

Следует особо отметить, что жителям городов, в которых уже построены линии ТМ, не стоит отчаиваться: технология СММ способна обеспечить надёжную стыковку своих линий и станций с существующими станциями ТМ, расположенными не только под землёй, но даже на эстакадах.

Согласно расчётам специалистов ОАО «Метрогипротранс» (*«Метро и тоннели» № 1,*

2003 г.), стоимость строительства 1 км Бутовской линии лёгкого метро (ЛМ) в Москве оказалась на 22 % дороже, чем линии ТМ, ввиду необходимости сноса зданий, переноса коммуникаций, проведения мероприятий по сокращению шума и пр. При поездках на ЛМ, также как на ТМ и на струнном транспорте, нужно пользоваться эскалаторами, получать от этого существенные неудобства, заметное уменьшение скорости поездки и транспортную усталость. Поэтому всё сказанное об убытках и неудобствах линий ТМ относится к ЛМ и к «струнному метро».

Существенным недостатком ТМ является то, что практически половина пассажиров ТМ постоянно находится под землёй, на эскалаторах, подземных станциях и переходах, т. е. в зонах повышенного риска. Как показала практика двойного теракта на Московском метрополитене (на станциях «Лубянка» и «Парк культуры» в 2010 г.), в случае теракта ТМ крайне трудно остановить: возможна паника, последствия которой непредсказуемы. Поэтому руководство Московского метрополитена не решилось сделать это после первого теракта. А через 40 минут на этой же линии последовал второй теракт. Тут уже было не до останков. Стало очевидно, что организаторы терактов рассчитывали на панику.

Работу СММ, метропоезда которого через каждые 2–3 минуты выезжают на наземные станции, можно безопасно и быстро остановить за 5–7 минут. И за счёт этого предотвратить второй теракт, если случился первый. Да и серьёзная паника на наземных станциях СММ маловероятна.

Чтобы профессионально обосновать, почему в XXI веке выгоднее строить СММ, чем ТМ, нужно показать следующее.

1. Станция СММ занимает меньше городского пространства, чем станция ТМ, при её постройке нужно вынимать меньше грунта и потому её легче вписать в тесный город, не повредив соседние здания.

2. Стоимость строительства СММ гораздо меньше, чем ТМ.

3. Скорость поездки на СММ в 2 раза выше, чем на ТМ.

4. Расход электроэнергии на СММ в 3 раза меньше, чем на ТМ.

Территория, занимаемая станцией СММ, и объём грунта, вынимаемого при её постройке

Согласно ГОСТ 23961-80 «Метрополитены. Габариты приближения строений, обслуживания и подвижного состава», от центра тоннеля до головок рельсов 1,7 м. При радиусе тоннеля 2,75 м (от диаметра 5,5 м) расстояние от головок рельсов до шельги будет $2,75 + 1,7 = 4,45$ м.

При требуемом заглублении тоннеля 1 диаметр от поверхности, от уровня головок рельсов (УТР) до поверхности будет $4,45 м + 5,5 м = 9,95 м$; округленно – 10 м.

Если рельсы на станции заглублены на 1,1 м от поверхности (по ГОСТ 23961) от УТР до пола пассажирской платформы, плюс 0,5 м на конфигурацию профиля трассы на

Таблица 1

Объект	Стоимость, млрд руб.	Стоимость, в % от 4,5
Станция ТМ		
подземная станция 10560 м ² (440×24)	3,55	78,9
вынос коммуникаций с площади 10560 м ²	0,45	10,0
эскалаторное хозяйство (на два выхода)	0,5	11,1
Итого	4,5	100 %
Станция СММ		
наземная станция 3668 м ² (163×22,5) 1 м ² = 100 тыс. руб.	0,367	8,2
вынос коммуникаций с площади 6300 м ² (140×2×22,5)	0,268	6,0
Итого	0,635	14,2 %

станции, то в конце станции рельсы будут заглублены на 1,6 м от поверхности.

Чтобы начать проходку щитом, заглубление трассы должно составить 10 м. Значит, приращение заглубления: $10 - 1,6 = 8,4$ м.

Длина котлована (штатный уклон 60 ‰): $8,4/0,06 = 140$ м. Длина станции: $140 + 163 + 140 = 443$ м.

Длина станции «Лермонтовский проспект» – 440 м, фактически совпадает с 443 м.

Котлован станции СММ от 1,5 до 10 м, в среднем 5,75 м, а у ТМ 12–13 м, что в 2 раза глубже. Объём вынимаемого грунта при постройке станции СММ: $140 \times 5,75 \times 22,5 \times 2 = 36225$ м³. Объём вынимаемого грунта при постройке станции ТМ: $440 \times 12,5 \times 24 = 132000$ м³; что в 3,6 раза больше, чем у станции СММ.

Площадь станции в плане у ТМ: $440 \times 24 = 10560$ м². Площадь станции в плане у СММ: $443 \times 22,5 = 9967$ м² (10560/9957); что на 6 % меньше, чем у ТМ.

Вывод: площадь городской территории, занимаемой станцией СММ (в плане), меньше площади, занимаемой станцией ТМ, на 6 %; объём грунта, вынимаемого при постройке станции ТМ, в 3,6 раза больше, чем при постройке станции СММ.

Стоимость строительства метро по технологии ТМ и СММ

Базовая стоимость строительства 1 км ТМ мелкого заложения – 5,0 млрд руб.

Стоимость строительства среднего перегона 1,7 км + 1 станция – 8,5 млрд руб.

Стоимость строительства станции ТМ – 440 м (53 % общ. стоимости) – 4,5 млрд руб.

Стоимость строительства тоннелей – 1,26 км (1,7–0,44) в двухпутном исчислении с сооружениями ВОУ, ВК, ВСБ* (47 % от общей стоимости) – 4,0 млрд руб.

Пример: стоимость строительства станций метрополитена мелкого заложения «Некрасовка» и «Лермонтовский проспект» – около 4,5 млрд руб. (табл. 1).

Вывод

1. Стоимость строительства тоннелей 1,26 км + 1 станция ТМ – 8,5 млрд руб.

Стоимость строительства 1,26 км + 1 станция СММ $4 + 0,635 = 4,635$ млрд руб.

Экономия при СММ – 45 %.

2. Средняя стоимость строительства 1 км ТМ – 5,0 млрд руб.

Средняя стоимость строительства 1 км СММ – $4,635 / 1,7$ км = 2,726 млрд руб.

(5 млрд руб. / 2,726 млрд руб.) = 1,8.

Строительство СММ дешевле ТМ в 1,8 раза.

Скорость поездки на СММ в 2 раза выше, чем на ТМ

Средняя скорость движения метропоездов между подземными станциями, с учётом остановки, составляет 40–43 км/ч. При этом скорость поездки пассажира из расчёта «от двери до двери» составляет 22–25 км/ч (см. Предельные возможности метрополитена по провозной способности и скорости поездки пассажира // «Метро и тоннели» № 3, 2002 г.; Наполнение вагона метрополитена и провозная способность линий // «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций» № 3, 1999 г.).

Средняя скорость движения метропоезда между соседними станциями СММ составит 50 км/ч. Ввиду отсутствия ступенек и эскалаторов, пассажир доставляется от входа станции отправления прямо к выходу станции прибытия. Поэтому скорость поездки пассажира СММ из расчёта «от двери до двери» составляет 50 км/ч. Это в 2 раза выше, чем при поездке на ТМ.

Расход электроэнергии на СММ в 3 раза меньше, чем на ТМ

Согласно статистике работы метрополитенов за 2014 г. из 100 % общего расхода электроэнергии на Московском метрополитене 19 % было израсходовано на работу эскалаторов (на Петербургском метрополитене – 28 %).

Подсчитанная выше упрощённым способом экономия электроэнергии на тягу на СММ составила 56 %. Согласно уточнённым тяговым расчётам, основанным на тягово-энергетических испытаниях метропоезда «НеВа», экономия составила 64 %; примем

экономии электроэнергии на тягу на СММ, в среднем, 60 %.

Суммарный расход электроэнергии при эксплуатации СММ (без эскалаторов) составит: $100 \% - 19 \% = 81 \%$. При принятой средней экономии электроэнергии на тягу 60 % получим, что расход электроэнергии на СММ составит $81 \% \times 0,4 = 32,4 \%$ от расхода на ТМ. Размер экономии: $100 \% / 32,4 \% = 3$ раза.

Вывод: расход электроэнергии при эксплуатации СММ будет в 3 раза меньше, чем при ТМ (и это не считая отсутствия на СММ затрат электроэнергии на освещение подземных станций, сокращения расхода электроэнергии на вентиляцию и за счёт уменьшения сопротивления движению вагонов ввиду уменьшения поршневого эффекта; в сумме это даст дополнительную экономию около 5 %).

Выводы

С учётом изложенного в этой статье и в статье, опубликованной в «Метро и тоннели» № 1, 2010 г., можно сделать следующие выводы:

- в крупном городе, в котором имеется пассажиропоток более 100 тыс. пасс./сутки, строительство линии СММ окупится за шесть-восемь лет;
- линия СММ строится в 2–3 раза легче и быстрее, чем ТМ; её можно запустить в работу уже при готовности первых двух-трех перегонов;
- стоимость строительства СММ в 1,8 раза меньше, чем ТМ;
- станции СММ легче вписать в тесные условия плотно застроенного города: они занимают в плане на 6 % меньшую территорию, чем станции ТМ, и менее опасны для окружающих зданий, поскольку объём вынимаемого грунта при их постройке в 3,6 раза меньше, чем при постройке станций ТМ;
- скорость поездки на СММ в 2 раза выше, чем на ТМ, а расход электроэнергии в 3 раза меньше;
- уровень безопасности при поездке на СММ гораздо выше, чем при поездке на ТМ;
- СММ позволит инвалидам-колясочникам и лицам с ограниченной подвижностью самостоятельно передвигаться по крупным городам и мегаполисам;
- в городе с СММ сократятся поездки на автомобилях, улучшится экология, сократятся пробки на автодорогах и транспортная усталость населения.

Ключевые слова

Скоростной мобильный метрополитен без эскалаторов и наземных станций.

High-speed mobile underground without escalators and underground stations.

Для связи с автором

Мнацаканов Валерий Александрович
kamotltd@gmail.com



*пригонные сооружения: ВОУ – водоотливная установка, ВК – вентиляционная камера, ВСБ – противодутьевая вентиляционная сбойка



Коллективу ЗАО «БакуМетрополитен»

Уважаемые коллеги!

Тоннельная ассоциация России сердечно поздравляет коллектив Бакинского метрополитена со знаменательной датой – 50-летием со дня пуска в эксплуатацию метрополитена в столице Республики Азербайджан – городе Баку, который ознаменовал собой и рождение вашей организации.

Бакинский метрополитен является сложнейшим инженерным сооружением, активно развивается, особенно в последние годы, и по праву занимает лидирующее положение по объемам и надежности пассажироперевозок в городе. При этом станции метрополитена являются уникальными архитектурными творениями и ярко отражают культуру и национальный колорит народов Азербайджана.

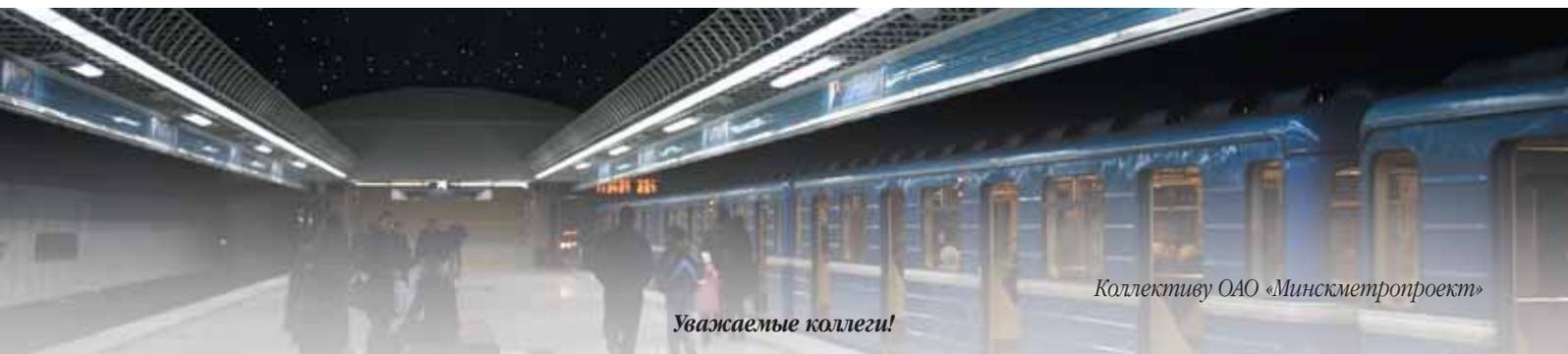
Мы с удовлетворением отмечаем те крепкие, искренние, плодотворные и, поистине, дружеские связи, которые за многие годы установились между метростроителями России и Азербайджана с самого начала строительства метрополитена в городе Баку. Лучшие проектировщики и строители России щедро делились своим опытом, накопленным при строительстве метрополитенов в городах бывшего СССР, и сами перенимали ценный опыт тоннелестроителей Азербайджана, которые в совершенстве владели технологиями строительства тоннелей в горных условиях. Эти связи взаимно обогащают нас и делают сильнее. Мы всегда с глубокой благодарностью помним, что виднейший на территории СССР специалист в области метро- и тоннелестроения, организатор Тон-

нельной ассоциации России Сергей Николаевич Власов свой первый профессиональный опыт и опыт крупного организатора строительного производства получил в организациях Бактоннельметростроя на строительстве тоннелей в горах Азербайджана и метрополитена города Баку.

Уважаемые коллеги, нам приятно видеть, что свой 50-летний юбилей ваш коллектив встречает на пике деловой активности, имея за спиной неоценимый производственный опыт, а впереди – ясную перспективу. Ваш труд уважаем и востребован, а это вселяет уверенность в завтрашнем дне. От имени всех членов Тоннельной ассоциации России желаю всем вам крепкого здоровья, счастья и процветания, глубокого удовлетворения от результатов своего труда.

Председатель правления ТАР

К. Н. Матвеев



Коллективу ОАО «Минскметропроект»

Уважаемые коллеги!

Примите самые теплые и искренние поздравления от Тоннельной ассоциации России по случаю 40-летия со дня основания вашего института!

Переяв лучшие традиции отечественного метростроения, заложенные в стенах такого авторитета в области проектирования метрополитенов, как московский институт «Метрогипротранс», коллектив вашего института все эти годы с успехом решал и решает сложные и ответственные задачи выпуска проектной документации для строительства и развития метрополитена в столице Республики Беларусь – городе Минске. Приятно отметить, что проектные решения сооружений метрополитена, которые родились в вашем институте, всегда отличаются с одной стороны – простотой конструкции, а с другой – оригинальностью и полетом фантазии. Широкое применение новых ви-

дов отделочных материалов стало визитной карточкой вашего института, позволяет создавать изумительные по своей красоте интерьеры станций и наземных вестибюлей метрополитена, которые радуют глаз и поднимают настроение у жителей и многочисленных гостей города Минска.

Мы радуемся вместе с вами и тому факту, что накопленный за эти 40 лет опыт проектирования подземных сооружений позволил вашему коллективу приобрести прочный и устойчивый авторитет не только в Белоруссии, но и на рынках строительных услуг России и зарубежных стран. Неоценим вклад коллектива вашего института в дело развития транспортной инфраструктуры столицы зимней Олимпиады 2014 года – города Сочи. Мы с глубокой благодарностью отмечаем ваше участие в реализации широкомасштабной программы развития Московского метрополитена.

Не можем также не отметить, что Минскметропроект на протяжении многих лет является членом Тоннельной ассоциации России, активно участвует в ее работе, регулярно делаясь своим опытом в области метро- и тоннелестроения, а с 2011 г. основал Тоннельную ассоциацию Беларуси и достойно представляет метро- и тоннелестроителей Беларуси в Международной ассоциации тоннелестроения и освоения подземного пространства.

В этот знаменательный день мы передаем самые сердечные поздравления всему вашему коллективу и желаем всем крепкого здоровья и дальнейших больших успехов в нашем общем деле – развитии транспортной инфраструктуры наших стран и формировании комплексного подхода к освоению подземного пространства наших городов.

Председатель правления ТАР

К. Н. Матвеев

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ АГРЕГАТАМИ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Л. Н. Тетиор, советник генерального директора по инновациям в области автоматизации АО АМЗ «Вентпром», к. т. н.
И. М. Дауров, заместитель начальника управления систем автоматизации АО АМЗ «Вентпром»

Разветвленная сеть подземных транспортных сооружений является сложнейшим техническим объектом. И одна из основных технологических задач в работе метрополитена – создание требуемых климатических условий на станциях и в тоннелях. Эти функции обеспечиваются вентиляционным оборудованием метрополитена, контроль и управление которым осуществляется автоматизированной системой (рис. 1).

Современный ритм жизни мегаполисов предполагает необходимость их жителей успевать везде и всюду. Транспортная инфраструктура крупных городов должна подстраиваться под заданный ритм и соответствовать современным стандартам удобства, оперативности и безопасности пассажирских перевозок.

Метрополитен на текущий момент развития технологий соответствует предъявляемым требованиям.

Завод АО АМЗ «Вентпром» ведет разработки систем автоматического управления вентиляционными агрегатами метрополитенов (системы САУ-ВОМ) в течение более 15 лет.

Разработки систем велись на основе технических требований АО АМЗ «Вентпром», технических заданий ассоциации «Метро», ЭМС Московского метрополитена, а также электромеханических служб метрополитенов городов России.

Разработан ряд модификаций систем, которые объединены в рамках идеологии, основанной на требованиях безаварийной и непрерывной работы вентиляционного оборудования метрополитена. Каждый метрополитен устанавливает собственные требования к системам управления (определенный производитель, компоновка оборудования, дополнительные технические функции), поэтому для каждого заказчика система управления разрабатывается персонально и имеет свои уникальные особенности.

Система автоматического управления САУ-ВОМ представляет собой аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий подачу питания, управление приводами, контроль технологических параметров работы вентарегата, а также все необходимые режимы работы вентарегата и передачу информации о его работе по локальной сети в КАС-ДУ метрополитена (объединенный диспетчерский пункт).

Основные преимущества систем САУ-ВОМ производства АО АМЗ «Вентпром»

1. Основой управляющей части систем являются современные программируемые логические контроллеры ПЛК, работоспо-



Рис. 1. Резервированная система вентарегатов одной из станций Московского метрополитена

сность которых сохраняется и при отсутствии питающего напряжения (с помощью источников бесперебойного питания). Используются ПЛК как ведущих мировых производителей, в частности, Siemens, Schneider Electric, так и российских, к примеру, Овен.

2. В качестве устройств управления приводами вентиляторов применяются либо устройства плавного пуска (в случае, если требуется лишь плавный запуск вентустановок), либо преобразователи частоты (при необходимости регулирования скорости вращения вентилятора). Используются изделия ведущих мировых производителей Siemens, Schneider Electric, Vacon, а также российских.

3. Применены датчики, обеспечивающие углубленную диагностику работы агрегата. Ведется контроль температуры подшипников, обмоток электродвигателя, вибродиагностика по трем координатам, контроль параметров расхода и давления воздуха, ток электродвигателя.

4. В составе систем используются панели оператора, на экраны которых выводится информация о работе вентиляторов, в том числе показания всех датчиков вентилятора, аварийные и предупредительные сообщения системы. С панели оператора имеется возможность задать все необходимые установки и настройки системы (рис. 2).

5. Имеется возможность местного автоматического управления от шкафа, а также ручное поэлементное управление оборудованием системы.

6. Обеспечено двойное дистанционное управление: от пульта дистанционного управления (аппаратными сигналами), а также от компьютера КАС-ДУ по локальной информационной сети (Modbus TCP / Modbus RTU).

7. Все шкафы имеют встроенные терморегуляторы, позволяющие стабилизировать температуру внутри шкафа на заданном уровне.

8. В случае применения преобразователей частоты используется система вентиляции, позволяющая отвести тепло, выделяемое преобразователем частоты, из объема шкафа.

9. Предусмотрена функция прогрева двигателя в режиме «ожидания» и контроль сопротивления изоляции.

10. Конструктивно шкафы системы выполнены по идеологии и на базе конструктивов Rittal, (Германия), Sarel (Франция) и их аналогов.

11. Аппаратура управления и панели оператора, установленные на дверях, защищены от атмосферных воздействий специальными корпусами.

12. Для повышения надежности системы в цепях управления исключены электромагнитные реле. Общее количество реле сведено к необходимому минимуму.

13. Аппаратура управления резервирована и основана на применении двух ПЛК для управления системой (один ПЛК – основной, второй – резервный).

14. Учитывая большой диапазон колебаний питающих напряжений, применены стабилизаторы с глубокой стабилизацией питающего напряжения.

15. Предусмотрены устройства защиты внутреннего объема шкафа при пожаре (установлены генераторы огнетушащего аэрозоля).

16. Дополнительно в системах имеется резерв, благодаря которому системы САУ-ВОМ могут выполнять функции контроля доступа, противопожарного контроля и управления дополнительными вспомогательными приводами.

17. Отдельно необходимо отметить заложенные в алгоритм управления систем функции работы вентагрегатов в условиях аварийных ситуаций.

Конструктивно система автоматического управления вентагрегатом метрополитена представляет собой два шкафа, соединенных вместе и размещенных на одном поддоне. Средние стенки сняты, вместо них установлен электромагнитный экран, разделяющий силовую и контроллерную части.

В одном шкафу находится силовое оборудование: силовой автоматический выключатель, преобразователь частоты, магнитные пускатели, выполняющие режим прямого пуска (если это требуется в соответствии с ТЗ), трансформаторы тока. На двери этого шкафа установлены решетки и вентилятор, обеспечивающие отвод тепла преобразователя частоты из объема шкафа (рис. 3).

В другом шкафу расположено оборудование управления: программируемые контроллеры, модули ввода-вывода сигналов, блоки питания, оборудование управления. На двери этого шкафа находятся два дополнительных корпуса, имеющие защиту IP54. В одном из них установлено все оборудование ручного управления (кнопки, переключатели), в другом корпусе – панель оператора и счетчик электроэнергии.

При таком размещении аппаратуры управления и преобразователя частоты оборудование управления хорошо экранировано от помех, которые возникают при работе преобразователя частоты.

Установка аппаратуры ручного управления в отдельных корпусах обеспечивает:

- защиту оборудования управления: оно не подвергается внешним воздействиям (грязь, пыль, вода, снег, низкая температура), так как навесные корпуса герметично закрыты;
- возможность работы в режиме ручного управления, а также работу с панелью оператора без необходимости непосредственного открывания двери шкафа управления



Рис. 2. Панель оператора, аппаратура управления и индикации шкафа контроллерного



Рис. 3. Силовой шкаф управления САУ-ВОМ



Рис. 4. Заводские испытания систем САУ-ВОМ совместно с вентилятором

(работа производится только открыванием навесного корпуса).

Заводом проведена разработка полного комплекта документации: электрических схем, конструкторской документации, текстовых документов (ТУ, ТЗ, РЭ, ПС, ПМ), программного обеспечения для систем управления всеми вентиляторами серии ВОМ, которые выпускает АО АМЗ «Вентпром».

Проведены неоднократные межведомственные испытания систем совместно с рядом вентиляторов, выпускаемых АО АМЗ «Вентпром» для метрополитенов. Испытания прошли без замечаний. Также при выпуске продукции заказчику на предприятии АО АМЗ «Вентпром» проводятся заводские испытания всех систем САУ-ВОМ (рис. 4).

Системы выпускаются в различных вариантных исполнениях для метрополитенов Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода, Баку, Минска. В целом выпущено более 200 систем. Ведутся переговоры с заказчиком по поставкам систем САУ-ВОМ в метрополитен Лондона и ряда других европейских городов.

Ключевые слова

Метрополитен, вентиляционный агрегат, система автоматического управления.

Для связи с авторами

- Тетиор Лев Николаевич
ruspromko@gmail.com
- Дауров Игорь Михайлович
DaurovIM@ventprom.com



ТРАНСПОРТ МОСКВЫ К ЧЕМПИОНАТУ МИРА ПО ФУТБОЛУ ЧМ-2018

MOSCOW TRANSPORT TO 2018 WORLD CUP

Е. В. Щекудов, к. т. н., АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»

E. V. Shchekudov, Ph. Dr., TSNIIS



Россия получила право на проведение Чемпионата мира по футболу 2018 г. Рассматриваются базовые принципы формирования транспортной системы, задействованной в обеспечении ЧМ-2018.

Russia won the right to host the 2018 world Cup. Basic principles of formation of transport system, involved in securing the 2018 world Cup.

2 декабря 2010 г. по результатам голосования, которое прошло в Цюрихе, Россия победила во втором туре, набрав более половины голосов. На проведение турнира также претендовали совместные заявки Испании и Португалии, Нидерландов и Бельгии, а также Англии.

28 сентября 2012 г. был объявлен окончательный список городов, где пройдет Чемпионат мира. Это право получили 11 городов: Москва, Санкт-Петербург, Казань, Нижний Новгород, Самара, Екатеринбург, Волгоград, Ростов-на-Дону, Сочи, Калининград и Саранск. В столице матчи турнира пройдут в «Лужниках», где состоится матч открытия и финал, и на стадионе «Спартак».

Москва примет 12 матчей Чемпионата мира по футболу 2018 г. В «Лужниках» проведут семь игр. На стадионе «Открытие Арена» состоится пять игр.

Развитие транспортной системы к чемпионату

Вопросы организации перевозок участников и гостей соревнований составляют неотъемлемую часть государственных гарантий, принятых Российской Федерацией в связи с проведением Чемпионата мира по футболу 2018 г. Своевременная и качественная подготовка транспортной инфраструк-

туры, обеспечение удобного, быстрого и безопасного перемещения участников и гостей соревнований являются одним из основных условий успешного проведения любых крупных массовых спортивных мероприятий.

Транспортное планирование футбольных первенств осложняется трудно предсказуемым характером транспортных корреспонденций, связанных с перемещением как национальных футбольных команд, так и их болельщиков, высокой неравномерностью объемов пассажирских и грузовых перевозок в период проведения соревнований. Это обуславливает дополнительные требования к пропускной способности транспортной инфраструктуры, ее надежности, безопасности и эффективности в целом.

Базовыми принципами формирования транспортной системы, задействованной в обеспечении ЧМ-2018, являются следующие.

1. Обеспечение соблюдения требований и рекомендаций FIFA по транспортному обслуживанию Чемпионатов мира по футболу и выполнения соответствующих обязательств в Российской Федерации.
2. Устойчивое, эффективное, безопасное и комфортное перемещение всех участников и гостей

ЧМ-2018 должно обеспечиваться с учетом требуемого уровня сервиса для различных клиентских групп на основе изучения и использования лучшего зарубежного опыта при проведении аналогичных соревнований.

3. Удовлетворение транспортных потребностей участников и гостей ЧМ-2018 должно обеспечиваться в первую очередь:

- системами общественного пассажирского транспорта городов-организаторов (во внутригородском сообщении);
- воздушным, железнодорожным и междугородным автобусным транспортом (в междугородном сообщении);
- воздушным и железнодорожным транспортом (в международном сообщении);
- за счет развития немоторизованных видов передвижения в городах (вело- и пешеходного движения);
- за счет использования транспортных средств, работающих на электричестве и низкоуглеродных видах топлива.

4. Использование личного автотранспорта должно предусматриваться, но не рассматриваться в качестве преобладающего и поощряемого вида передвижения в период проведения ЧМ-2018.

5. Развитие транспортных систем для достижения целей проведения ЧМ-2018 должно основываться:

- на реализации к 2017 г. существующих планов и программ (федеральных, региональных, местных) развития инфраструктуры и общественного транспорта;
- на максимальном использовании возможностей существующей транспортной инфраструктуры;
- на интеграции, совершенствовании качества и расширении номенклатуры существующих услуг различных видов транспорта общего пользования (реализация принципа мультимодальности);
- на расширении привлечения частного капитала и инвестиционных финансовых структур к реализации проектов на основе механизмов ГЧП.

6. Соблюдение требований по обеспечению транспортной и экологической безопасности, а также доступной транспортной среды для лиц с ограниченной мобильностью.

7. Обеспечение эффективного использования вновь создаваемых объектов транспортной инфраструктуры после завершения ЧМ-2018.

8. Достижение специфических целей транспортного обеспечения ЧМ-2018 за счет внедрения специальных мер и решений (в т. ч. в сфере управления), апробированных в других странах, с последующим их использованием при обслуживании крупных спортивных и культурных событий в будущем.

Разрабатывается сервис-гид по транспорту для болельщиков, которые планируют посетить стадионы. «Транспортный гид болельщика поможет рассчитать маршруты, в том числе и между городами-участниками Чемпионата мира по футболу-2018, забронировать бесплатные билеты на железнодорожный транспорт. Это современный формат информированности о возможностях городского транспорта.

К слову, бесплатный проезд в города проведения игр по железной дороге тоже новинка, которую ни одна из других стран-организаторов мундиала не применяла. Эта услуга будет доступна для обладателей билетов на стадионы.

Москва примет самые главные матчи Чемпионата мира. Чтобы эффективнее решать как эту, глобальную, так и повседневные задачи, московский транспорт

должен становиться интеллектуальнее, доступнее для маломобильных граждан и экологичнее.

В Москве не останется ни одного автобуса и ни одной машины такси, которые ездят на топливе стандарта ниже «Евро-4+». Для себя город закупает только транспорт, соответствующий стандарту «Евро-5».

Еще одним шагом на пути к «зеленому» общественному транспорту в столице, а в перспективе и во всей стране, станет новый вид подвижного состава – электробус. Мосгортранс уже получил на тестирование сразу две такие машины: одиночный ЛиАЗ-6274 производства «Группы ГАЗ» и «гармошку» БКМ E433 Vitovt Max Electro из Белоруссии.

Все аэропорты, железнодорожные вокзалы и автовокзалы столицы готовы к прибытию большого числа гостей Чемпионата мира по футболу-2018.

Соответствующим образом составлена транспортная схема и график работы транспорта в городе на период проведения Чемпионата мира.

Временные выделенные полосы для общественного транспорта появятся в Москве к Чемпионату мира по футболу. Конкурс на их проектирование объявил столичный Департамент транспорта.

Новые выделенные полосы – всего их будет четыре – скорее всего, станут действовать только во время спортивных мероприятий.

Новые участки выделенных полос, согласно конкурсной документации, должны быть спроектированы на Фрунзенской набережной (от съезда с Садового кольца до Хамовнического Вала), на улице Косыгина (от площади Гагарина до Университетской площади), на Хамовническом Валу (от Фрунзенской набережной до Комсомольского проспекта) и на Волоколамском шоссе (от канала им. Москвы до ул. Дубосековской).

Помимо этого, разработчик должен предусмотреть несколько новых стоянок для болельщиков, в частности, на территории Лужников.

Будут разработаны маршруты следования автобусов с болельщиками, а также экспрессы. Все это нужно для беспрепятственного перемещения болельщиков на стадионы. Ранее город также объявлял конкурс на разработку пешеходных маршрутов для маломобильных групп населения.

Гости Чемпионата мира по футболу 2018 г. смогут пользоваться общественным транспортом бесплатно.

Такое право распространяется на получивших аккредитацию FIFA гостей и участников спортивных соревнований, а также волонтеров и зрителей матчей. Все они имеют право бесплатно ездить в наземном городском пассажирском транспорте (за исключением легкового такси) на городских и пригородных маршрутах, в Московском метрополитене, в поездах Московского центрального кольца, в поездах «Аэроэкспресса», а также в пригородном железнодорожном транспорте в пределах Москвы и Московской области. Чтобы воспользоваться правом бесплатного проезда, зрители должны при себе иметь персонифицированную карту зрителя «паспорт болельщика» и билет на матч. Зрители смогут бесплатно ездить в день проведения матча в соответствии с приобретенным билетом, причем, число поездок не ограничено. За исключением следования в поездах «Аэроэкспресса». Количество поездок для зрителей на данных поездах будет иметь определенные ограничения: не более двух поездок на одного зрителя, право будет действовать в течение двух дней до матча, в день матча и двух дней после матча.

Городской и пригородный наземный общественный транспорт предоставит право бесплатного проезда для зрителей спортивных соревнований на наиболее удобных маршрутах, которые будут определяться Департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы.

Какие изменения метрополитена уже начались

В метро, на МЦК и в пригородных электричках – на всех линиях и направлениях. В течение двух часов после завершения матча болельщики смогут бесплатно войти на станции метро, которые находятся рядом со стадионами. Во время Кубка конфедераций 2017 г. это было реализовано на станциях «Спартак» и «Тушинская», а во время Чемпионата мира по футболу 2018 г. это будет на станциях «Спартак», «Тушинская», «Фрунзенская», «Спортивная», «Воробьевы горы», а также на станции МЦК «Лужники».

Программа развития Московского метрополитена, в том числе к ЧМ-2018, подразумевает под собой ряд действий, направленных на усовершенствование уже имеющихся веток метро, а также строительство новых станций. Эта государственная программа, которая носит название «Развитие транспортной системы», берет свое начало в 2012 г. и предположительно закончится в 2020. К тому времени планируется открыть 64 новые станции. Стоит отметить, что стремительное развитие метро в Москве уже началось.

В 2012 г. ввели в эксплуатацию участки: «Красногвардейская» – «Алма-Атинская», «Митино» – «Пятницкое шоссе», «Новогиреево» – «Новокосино»; открыт второй вестибюль станции «Марьино Роща».

В 2013 г. ввели в эксплуатацию участок «Выхино» – «Жулебино», общая длина которого составила 5,18 км со станциями «Лермонтовский проспект» и «Жулебино».

В 2014 г. открылись следующие участки метро: «Юго-западная» – «Тропарево», «Деловой центр» – «Парк победы», «Улица Старокачаловская» – «Битцевский парк»; станция «Спартак».

В 2015 г. начали функционировать станция «Технопарк» и участок «Жулебино» – «Котельники».

Строительство новых станций

Население Москвы и Московской области стремительно растет и развивается, поэтому власти города вынуждены расширять карту Московского метрополитена, чтобы люди смогли беспрепятственно передвигаться по столице. Ведь общественный транспорт не всегда спасает, особенно в час пик. Единственным подспорьем, которое позволяет добраться с одной точки в другую, до сих пор остается метро. На данный момент развитие «подземки» – наиболее актуальный и обсуждаемый вопрос в правительстве. К 2018 г. по плану необходимо открыть 38 новых станций, что существенно разгрузит уже существующие

ветки. Теперь жители таких подмосковных районов, как Люберцы, Котельники и Дзержинский могут без проблем доехать в Москву. Развитие метро осуществляется поэтапно.

К 2017 г. введены в эксплуатацию несколько станций на разных ветках, а именно: на Люблинско-Дмитровской ветке «Бутырская» несколько разгружает Серпуховско-Тимирязевскую линию, благодаря станции «Фонвизинская» улучшается доступность к общественному транспорту. Власти предполагают, что пассажиропоток будет составлять 55 тыс. человек в сутки. «Петровско-Разумовская» является дополнением к уже имеющейся станции, чтобы уменьшить нагрузку на нее.

На Калининско-Солнцевской ветке станция «Ломоносовский проспект» принимает около 70 тыс. пассажиров в сутки. «Раменки» помогает 62 тыс. человек беспрепятственно добираться до работы. Станция «Минская» открыта в 2017 г.

На Третьем пересадочном контуре на станции «Петровский парк» планируется более 245 тыс. людей в сутки. «Деловой центр» позволит жителям северно-западных регионов Москвы беспрепятственно доезжать к месту назначения, минуя загруженный центр. Также можно будет доехать до Москвы-сити. «Шелепиха» – благодаря этой станции разгрузится «Улица 1905 года». «Ходынский поле» откроет путь к спорткомплексу «Мегаспорт». «Хорошевка» разгрузит Таганскую ветку, которая находится по соседству. Ожидаемый пассажиропоток составит более 300 тыс. в сутки.

На Сокольнической ветке с открытием станции «Саларьево» несколько изменились маршруты общественного транспорта. Замоскворецкая ветка продлится до станции «Ховрино».

Запланировано также открытие нескольких станций, которые окажутся весьма необходимыми для Московского метрополитена. На Кожуховской ветке: «Авиамоторная» – количество людей, которые будут пользоваться этой станцией, по прогнозам составит около 170 тыс. в сутки. «Лухмановская» – один из важных элементов в проектируемом транспортном узле. Предполагается, что станция сможет обслуживать около 160 тыс. пассажиров в сутки. «Косино». «Некрасовка». «Окская улица». «Стахановская» сможет принять более 100 тыс. человек в сутки. «Нижегородская улица» – здесь архитекторы хотят сделать стеклянную перегородку на платформе, которая сможет открываться вместе с дверями вагонов. «Юго-Восточная». «Улица Дмитриевского».

На Третьем пересадочном контуре (Северо-Восточный участок): «Нижняя Масловка» – пассажиропоток более 290 тыс. в сутки, «Рубцовская» и «Лефортово».

На Калининско-Солнцевской ветке: «Очаково» – на станции планируется сделать два подземных вестибюля. «Говорово» – расположена на севере Солнцева. «Боровское шос-

се» – станция поможет разгрузить общественный транспорт, ведь в близлежащих районах проживает более 35 тыс. человек. «Солнцево» – будет находиться в пешей доступности для 40 тыс. человек. «Рассказовка». «Новопеределкино».

На Люблинско-Дмитровской ветке: «Окружная» – благодаря этой станции появится возможность без пересадок добираться с севера на юг столицы. Более 100 тыс. пассажиров в сутки смогут ею воспользоваться. «Верхние Лихоборы» – ожидаемый пассажиропоток около 150 тыс. человек. «Селигерская» – снизится нагрузка на Коровинское и Дмитровское шоссе.

Планируется ремонт уже существующих станций метро. Стоит отметить, что для строительства новых участков Московского метрополитена задействовано более 40 тыс. рабочих. Работы ведутся постоянно на 350 разных площадках. Прокладка тоннелей между будущими станциями осуществляется при помощи 29 тоннелепроходческих щитов.

Московское метро со следующего года будет работать круглосуточно на Новый год и в День города. Об этом сообщил мэр столицы Сергей Собянин на заседании президиума московского правительства. Он также отметил, что оно будет работать в таком режиме и во время проведения Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 в России™.

В Москве продолжают готовиться к Чемпионату мира по футболу 2018 г., в рамках которого названия всех станций метрополитена будут переведены на английский язык.

На первом этапе были озвучены все станции Таганско-Краснопресненской линии, сейчас второй этап – Кольцевая линия. По Кольцевой сейчас ходят поезда, в которых названия станций и пересадки на другие линии объявляются на английском, все поезда на кольце оборудованы автоинформаторами на английском. В рамках подготовки к ЧМ-2018 все схемы столичного метро продублируют на шесть официальных языков ООН, включая китайский и испанский. Для этого размер схем увеличат. Также в подземке планируют продублировать на английском все указатели.

Помимо станций метро на английском будут продублированы названия всех станций Московского центрального кольца, а также вся навигационная информация.

Ключевые слова

Чемпионат мира, транспортная система, инфраструктура, выделенные полосы, бесплатный проезд, новые станции метрополитена.

The world championship, transport system, infrastructure, dedicated lanes, free travel, new metro stations.

Для связи с автором

Щекудов Евгений Владимирович
ShchekudovEV@Tsnis.com



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА В РАМКАХ ЭКОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е. Г. Козин, к. т. н., первый заместитель начальника ГУП «Петербургский метрополитен»
Ю. А. Филиппова, начальник отдела ГУП «Петербургский метрополитен»

В статье приводятся общие сведения о транспорте и основные направления деятельности государства по обеспечению экологической безопасности и охраны окружающей среды в рамках транспортной стратегии Российской Федерации. Особое внимание уделяется городскому пассажирскому транспорту Санкт-Петербурга, приоритетам государственной политики в сфере реализации городского пассажирского транспорта, перспективам развития Петербургского метрополитена до 2025 г.

Сооружения Петербургского метрополитена рассматриваются как сложная техническая система, взаимодействующая с природной средой и образующая природно-технические системы. Даются основные понятия и характеристики природно-технических систем, методы их анализа и управления на примере экосистемного подхода применительно к функциональной транспортной системе. Сообщается о направлениях проведения инженерных изысканий и мониторинга окружающей среды и природно-технических систем на стадии проектирования, строительства и эксплуатации сооружений метрополитена.

Транспорт является одной из основных отраслей хозяйственной деятельности и играет важную роль в социально-экономическом развитии страны.

Транспортная система обеспечивает условия экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения. Доступ к безопасным и качественным транспортным услугам определяет эффективность развития производства, бизнеса и социальной сферы [2].

Протяженность путей сообщения транспортной системы по состоянию на начало 2012 г. составляла 86 тыс. км железных дорог общего пользования, 38 тыс. км путей промышленного железнодорожного транспорта, 903 тыс. км автомобильных дорог общего пользования (в том числе 711 тыс. км дорог с твердым покрытием), 101 тыс. км внутренних водных путей, 2,5 тыс. км трамвайных путей, 485 км путей метрополитена, 4,8 тыс. км троллейбусных линий, 639 тыс. км воздушных трасс, из которых более 468 тыс. км являются международными [2].

В 2011 г. ежедневно по этим транспортным коммуникациям (всеми видами транспорта) осуществлялась перевозка 60 млн пассажиров и 28,5 млн т грузов [2].

Доля автомобильного (автобусного) транспорта в общем объеме пассажирских перевозок транспортом общего пользования составляет 60,8 %. В структуре пассажи-

рооборота 33,2 % занимает воздушный транспорт, 27,8 % – железнодорожный и 27,6 % – автомобильный. Постоянный рост числа легковых автомобилей в личном пользовании граждан оказывает влияние на снижение объема работы, выполненной пассажирским транспортом общего пользования [2].

Транспортная система в целом и ряд ее ключевых сегментов (инфраструктура железнодорожного транспорта и внутренних водных путей, автомобильные дороги) постоянно нуждаются в инвестициях и не обладают резервами «долговременной устойчивости». Среди основных проблем особо выделяются низкий технический уровень российского транспорта и неудовлетворительное состояние его производственной базы [2].

Недостаточные объемы реконструкции и строительства инфраструктурных объектов, а также темпы пополнения и обновления парков подвижных транспортных средств и другой транспортной техники привели в последние годы к существенному ухудшению их технического состояния (возрастная структура, увеличение износа и др.) и работоспособности [2].

В соответствии с транспортной стратегией Российской Федерации необходимо сформировать активную позицию государства по созданию условий для социально-экономического развития, прежде всего в целях повышения качества транспортных услуг; снижения

совокупных издержек общества, зависящих от транспорта, повышения конкурентоспособности отечественной транспортной системы, усиления инновационной, социальной и экологической направленности развития транспортной отрасли [2].

В условиях усиления внимания общества к экологическим факторам снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду имеет большое социальное значение [2].

Основными направлениями государственной транспортной политики в области повышения экологичности транспорта являются [2]:

- обеспечение охраны окружающей среды и экологической безопасности транспорта;
- обеспечение энергоэффективности российской транспортной системы.

Участие государства в решении проблем снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду заключается в реализации экологической политики на транспорте, в соответствии с которой экологические параметры становятся не ограничителем, а движущим фактором развития транспорта [2].

В рамках такой политики предусматривается реализация комплекса мер, направленных на мотивацию использования на транспорте инновационных технологий охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности транспорта. Приоритетное значение имеет экономическое сти-

мулирование использования экологически чистых видов топлива, возобновляемых источников энергии, транспортных средств с гибридными и электрическими двигателями, материалов и технологий, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду, а также внедрение технических регламентов экологически безопасного обращения с отходами транспортного комплекса [2].

Государственная экологическая политика предусматривает также содействие внедрению систем экологического менеджмента и управления качеством в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности на транспорте [2].

В целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития Российской Федерации, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности указом Президента Российской Федерации 2017 год объявлен Годом экологии [1].

Ежегодно в Санкт-Петербурге перевозится около 2 млрд пассажиров (в среднем более 5 млн поездок в день) следующими видами городского пассажирского транспорта: метрополитеном, автобусами («социальные» и «коммерческие» маршруты), городским электротранспортом (трамвай, троллейбус), железнодорожным транспортом пригородного сообщения, легковыми такси и аквабусами [3].

Приоритетом государственной политики Санкт-Петербурга в сфере реализации городского пассажирского транспорта является [3] следующее.

1. Повышение качества перевозок городским пассажирским транспортом с целью повышения его привлекательности и роста объема транспортных услуг:

- развитие маршрутной сети и инфраструктуры городского пассажирского транспорта, включая приоритетное развитие метрополитена, а также выделенных, в том числе физически, полос движения маршрутных транспортных средств;

- внедрение современного подвижного состава, обеспечивающего повышение комфортности перевозок и доступности для лиц с ограниченной мобильностью.

2. Повышение операционной и финансовой эффективности городского пассажирского транспорта.

В настоящее время метрополитен в Санкт-Петербурге является наиболее быстрым и надежным видом городского пассажирского транспорта общего пользования. Это обусловило увеличение доли метрополитена в структуре перевозок городским пассажирским транспортом за последние десять лет: за период с 2003 по 2013 г. она выросла с 34 до 40 %. Провозная способность метрополитена в настоящее время составляет 380 тыс. пассажиров в час при максимальной наполняемости вагонов 170 чел./ваг [3].

Петербургский метрополитен составляет структурную основу системы городского пассажирского транспорта общего пользования Санкт-Петербурга. Главной задачей

метрополитена является обеспечение магистральных внутригородских перевозок населения по направлениям, связывающим периферийные районы города с его центром и между собой, и характеризующихся наиболее устойчивыми пассажиропотоками [3].

Общая протяженность транспортной сети метрополитена увеличилась с 98,6 км в 2003 г. до 113,6 км в 2013 г. за счет ввода в эксплуатацию новых линий и станций метрополитена. За период 2000–2013 гг. были введены в эксплуатацию станции «Комendantский проспект», «Парнас», «Обводный канал», «Волковская», «Звенигородская», «Международная», «Спасская», «Адмиралтейская» и «Бухарестская» [3].

По сравнению с другими видами наземного городского пассажирского транспорта общего пользования, метрополитен обеспечивает самую высокую скорость движения, составляющую 32–40 км/ч (скорость движения на автобусе, трамвае и троллейбусе составляет не более 15–18 км/ч, снижаясь в часы пик до 5–10 км/ч) и высокую частоту движения. Интервал движения поездов в часы пик в среднем составляет порядка 2 мин [3].

На начало 2014 г. зона пешеходной доступности станций метрополитена покрывает 33,2 % территории плотной застройки (площадь определена без учета акваторий, парков и садов, объектов транспорта и т. п.). Доля территорий в зоне пешеходной доступности станций метрополитена в центре города составляет 58 %, в северных районах – 24 %, в восточных – 23,5 %, в южных – 12,7 %. Не обслуживаются метрополитеном Красносельский район, значительные части Приморского, Красногвардейского, Фрунзенского, Калининского, Выборгского районов [3].

В целях обеспечения развития Петербургского метрополитена правительством Санкт-Петербурга утверждена отраслевая схема развития метрополитена в Санкт-Петербурге на 2011–2015 гг. с перспективой до 2025 г.

Отраслевая схема направлена на определение направлений и целевых показателей развития скоростных видов пассажирского транспорта для удовлетворения потребностей населения Санкт-Петербурга в передвижениях с минимальными затратами времени, обеспечением удобства, надежности и безопасности поездок с учетом ресурсных ограничений и условий окружающей среды [4].

В соответствии с отраслевой схемой основные принципы и направления развития и размещения объектов инфраструктуры метрополитена в Санкт-Петербурге следующие [4].

1. Эффективное удовлетворение потребностей населения Санкт-Петербурга в перевозках с минимальными затратами времени при обеспечении удобства, надежности и безопасности поездок.

2. Повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта, снижение себестоимости перевозок, улучшение транспортной доступности, повышение надежности и эффективности работы городского пассажирского транспорта на территории Санкт-Петербурга.

3. Обеспечение сбалансированного развития общественного и индивидуального видов транспорта, учитывающего планировочные, градостроительные, ресурсные и технические возможности и ограничения, а также состояние окружающей среды.

4. Развитие сети и ввод в эксплуатацию новых станций метрополитена для обеспечения потребностей населения в высокоскоростных перевозках по наиболее востребованным направлениям и повышения пропускной способности метрополитена.

5. Обеспечение эффективного взаимодействия метрополитена и других видов городского пассажирского транспорта на территории Санкт-Петербурга.

Согласно государственной программе Санкт-Петербурга к 2020 г. эксплуатационная длина линий метрополитена увеличится на 25,8 км и составит 139,4 км [3].

Будут введены в эксплуатацию 13 новых станций [3], получат развитие действующие линии метрополитена [4]:

- Линия 3 (Невско-Василеостровская) от станции «Приморская» до станции «Береговая», включая станцию «Новокрестовская»;

- Линия 4 (Правобережная) от станции «Спасская» до станции «Горный институт», включая станцию «Театральная»;

- Фрунзенский радиус Линии 5 (Фрунзенско-Приморская) от станции «Международная» до станции «Шушары», включая станции «Проспект Славы» и «Дунайская».

Будет введена в действие Линия 6 (Красносельско-Калининская) в составе первого пускового участка, состоящего из двух станций глубокого заложения – «Юго-Западная» и «Путиловская».

Для обеспечения работы линий Петербургского метрополитена будут введены в действие два электродепо (электродепо «Южное» и электродепо «Красносельское») [3].

С учетом транспортной стратегии Российской Федерации и государственной политики Санкт-Петербурга при проектировании, строительстве и реконструкции объектов инфраструктуры Петербургского метрополитена необходимо уделять особое внимание вопросам охраны окружающей среды и экологической безопасности.

В соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации метрополитены относятся к особо опасным и технически сложным объектам, при проектировании, строительстве и реконструкции которых следует предусматривать [5]:

- технические решения, обеспечивающие безаварийный процесс строительства и эксплуатации сооружений метрополитена, а также прилегающих к ним подземных и наземных объектов;

- применение современных материалов, оборудования, изделий, соответствующих стандартам и другим нормативным документам Российской Федерации, а также применение материалов, оборудования и изделий, изготовленных по зарубежным нормам и стандартам, имеющих сертификаты соответ-

ствия и технические свидетельства Российской Федерации;

- индустриализацию строительства на базе современных средств комплексной механизации и автоматизации строительного производства, а также применение типовых конструкций и узлов, оборудования и аппаратуры, отвечающих мировым стандартам;

- технические средства, объемно-планировочные решения подземных сооружений и условия эксплуатации, обеспечивающие пожарную безопасность и безопасность движения поездов, безопасность пассажиров при нахождении во всех пассажирских помещениях станционных комплексов и в подвижном составе;

- технические решения, обеспечивающие выполнение требований санитарных норм и правил, правил охраны труда рабочих и служащих в периоды строительства и эксплуатации;

- максимальную механизацию и автоматизацию процессов эксплуатации, повышение комфорта проезда пассажиров, повышение производительности труда персонала, соблюдение принципов эргономики и технической эстетики;

- мероприятия по охране окружающей среды, памятников истории и культуры;

- мероприятия, обеспечивающие необходимый уровень доступности зданий и сооружений, связанных с перевозкой пассажиров всех категорий.

Сооружения метрополитена представляют собой сложные искусственные технические системы (ТС), которые на стадии строительства и после ввода их в эксплуатацию взаимодействуют с окружающей природной средой (атмосферой, гидросферой (поверхностной и подземной), литосферой и биосферой).

В результате взаимодействия компонентов природной среды и технических систем происходит изменение компонентов природной среды и природных объектов (антропогенная трансформация природной среды), формируются природно-технические системы (ПТС).

Природно-техническая система представляет собой совокупность форм и состояний взаимодействия компонентов природной среды с инженерными сооружениями на всех стадиях функционирования (от проектирования до реконструкции) [6].

В состав ПТС входит часть окружающей природной среды, находящаяся в зоне влияния ТС (рис. 1). Воздействие (влияние) зависит от вида ТС и может проявляться в разнообразных геологических, гидрологических, атмосферных и биологических процессах [10].

Пространственные границы ПТС проходят по максимальным границам области влияния ТС на взаимодействующую с ней природную среду. Временные границы ПТС не совпадают со сроком эксплуатации ТС. После остановки эксплуатации ТС ее влияние на окружающую природную среду ослабевает, но не прекращается. Воздействие заканчивается после ликвидации технической системы и прекращения действия последствий ее функционирования [6, 10].

ПТС является открытой динамической системой. Она обменивается массой и энергией с внешней по отношению к ней средой; ее состояние изменяется в физическом времени [6].

В режиме функционирования ПТС выделяют две стадии функционирования: стадия неустоявшегося режима ПТС и стадия относительной стабилизации [6].

Стадия неустоявшегося режима охватывает период от начала строительства до некоторого момента времени после его завершения и характеризуется сравнительно большими скоростями изменения структуры и свойств геологической среды с сооружением, большей скоростью и интенсивным проявлением инженерно-геологических процессов. Стадия относительной стабилизации отвечает такому характеру движения ПТС, при котором режим управляющих взаимодействий становится стационарным или периодическим и естественные причины (природные процессы) начинают существенно влиять на характер взаимодействия между естественными и искусственными элементами ПТС [6].

Главное отличие природно-технической системы от природной системы заключается в том, что она является управляемой (кибернетической). Взаимодействие между технической системой и природной средой требует управления путем регулирования потоков вещества и энергии, поддержания сбалансированности прямых и обратных связей между составляющими компонентами [6].

Большинство ТС взаимодействует с геологической средой. Для обозначения взаимодействия ТС и литосферы появилось понятие геотехнической системы [10].

Геотехническая система – образование физико-географической размерности, у которого природные (как специально созданные человеком, так и естественные, но непреднамеренно измененные в процессе действия техники) и технические части настолько тесно взаимосвязаны, что функционируют в составе единого целого (рис. 2) [6].

Понятия «природно-техническая система» и «геотехническая система» близки и представляют собой системы, в которых происходит взаимодействие природных и технических (антропогенных) компонентов.

Среди методов изучения ПТС можно выделить системный анализ, экосистемный анализ, моделирование и геоэкологический анализ [6].

Системный и экосистемный анализы обеспечивают целевое изучение последствий производственно-хозяйственной деятельности человека и получение достоверных данных, необходимых для разработки мероприятий по рациональной эксплуатации природных

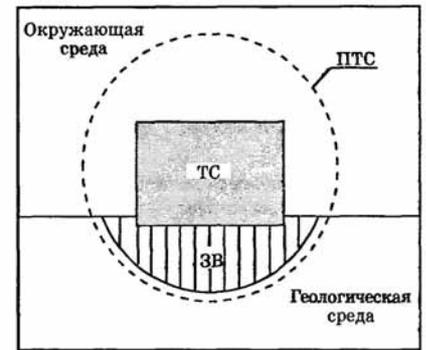


Рис. 1. Взаимодействие технической системы с внешними средами [7]: ТС – техническая система; ПТС – природно-техническая система; ЗВ – зона воздействия (влияния) технической системы на геологическую среду

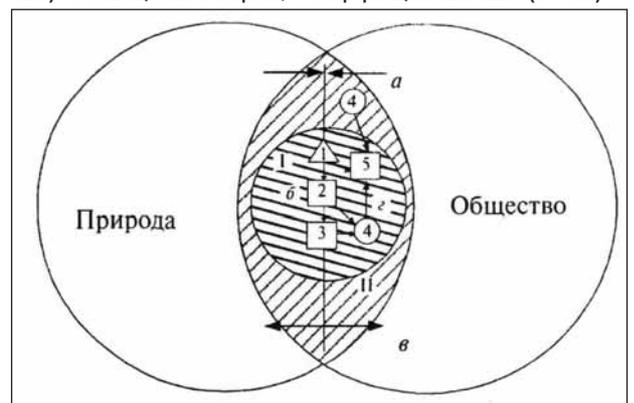
ресурсов, оценки экологической емкости природных территориальных объектов, их стойкости к техногенному воздействию и направления практического использования с учетом требований охраны окружающей среды [6].

Геоэкологический анализ территории направлен на создание научных основ решения проблем оздоровления экологической ситуации, оптимизации природопользования и включает комплекс методов: сравнительно-географический, геосистемный, геохимический, статистический, картографический, геоинформационный. Геоэкологический анализ предполагает выявление признаков, характеризующих современное и ожидаемое состояние окружающей среды, изучение связей между природным и техногенным блоками техноэкоисистемы [6].

Сущность экосистемного подхода к организации строительной деятельности заключается в представлении инженерных сооружений (объектов строительства) в качестве элементов функциональных подсистем, создаваемых природно-технических систем (ПТС) [9].

ПТС в целом и их подсистемы рассматриваются в трех аспектах системотехники:

Рис. 2. Принципиальная схема геотехнической системы [6]: I – геотехническая система, II – сфера ее влияния; 1 – блок регулирования; 2 – инженерно-технические сооружения; 3 – искусственно созданная природная подсистема; 4 – средства контролирования; 5 – блок управления. Потоки: а – входящий поток вещества и энергии; б – управляемый поток вещества и энергии; в – выходящий (трансформированный) поток вещества и энергии; г – информационные связи (потоки)



структурно-иерархическом, диалектическом и кибернетическом [9].

Структурно-иерархический аспект определяет пространственно-временные границы области существования ПТС для построения ее моделей с выделением на основе декомпозиционного анализа соответствующих структурных и функциональных подсистем и определением основных взаимодействующих компонентов на мега-, макро-, мезо-, микро- (нано-) уровнях иерархии их пространственной организации (структур) [9].

Диалектический аспект означает необходимость рассматривать ПТС в их естественноисторическом развитии (техногенезе) на всех стадиях жизненного цикла, включая инвестиционный замысел, проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию и утилизацию (рециклирование) после выработки ресурса или выполнения целевых задач [9].

Кибернетический аспект предполагает рассмотрение многокомпонентной, многоуровневой, иерархически организованной и диалектически развивающейся ПТС и ее структурных и функциональных подсистем в качестве объектов управления [9].

Общая блок-схема экосистемного метода управления ПТС применительно к функциональной транспортной системе представлена на рис. 3.

Управление состоит из определенной последовательности процедур [8].

1. Определение объекта управления (ограничение его пространственно-временных границ и составление системной модели управления, включающей модели подсистем, связывающих формализованными процедурами (соотношениями) значимые параметры состояния взаимодействующих компонентов ПТС и условия их сопряжения).

2. Определение целей управления на федеральном, региональном и локальном уровнях иерархии систем управления с учетом их изменений по стадиям жизненного цикла.

3. Определение ограничительных функций (допустимых пределов изменения контролируемых параметров состояния компонентов ПТС, регламентированных действующими нормами и стандартами или обоснованных исследованиями).

4. Информационное обеспечение выработки и принятия управляющих решений (для прогнозирования изменений параметров состояния взаимодействующих компонентов ПТС при различных сценариях управления их взаимодействием).

5. Разработка сценариев управления (определение параметров объекта управления и выбор состава, последовательности и режимов выполнения процедур или операций по регулированию параметров состояния объекта).

6. Оптимизация затрат ресурсов (времени, труда, энергии, материалов, информации, природных компонентов, техники, финансов) на разработку и реализацию принятых сценариев управления.

7. Определение субъекта управления и реализация принятых (после экспертиз, согласований и утверждения) сценариев управления.

8. Мониторинг ПТС.

Стратегия управления основана на непрерывной или периодической коррекции траекторий достижения заданного качества ПТС при минимизации затрат ресурсов за инвестиционный цикл [8].

Технология управления состоит из перечисленных выше процедур, реализуемых в итерационном режиме [8].

Коррекция целей и сценариев управления на каждом цикле итерации осуществляется на основе оценок и прогнозов, разрабатываемых в ходе научного сопровождения (НС) (интеллектуального мониторинга) ПТС на всех стадиях жизненного цикла [8].

Сценарии управления (объемно-планировочные, конструктивно-технологические, организационно-управленческие и другие решения) должны учитывать динамику заданных ограничений по критериям экологической, экономической, технологической (функциональной) и социальной безопасности [8].

Задача обеспечения экологической безопасности состоит в том, чтобы не допустить опасных необратимых нарушений хрупкого динамического равновесия между природными и антропогенными компонентами ПТС [8].

Экономическая безопасность обеспечивается эффективным управлением потоками ресурсов (финансовых, трудовых, энергетических, информационных, материально-технических) [8].

Технологическая (функциональная) безопасность обеспечивается путем соблюдения ограничений, устанавливаемых действующими стандартами и техническими условиями на нагрузки, геометрию, напряженно-деформированное состояние, тепловые и влажностные режимы и физико-механические свойства материалов, изделий, конструкций и сооружений, составляющих иерархически организованную техносферную компоненту ПТС (объекта управления) [8].

Социальная безопасность обеспечивается при соблюдении нормативно-правовых ограничений, определяющих правила взаимодействия всех участников процесса управления

созданием и функционированием конкретной ПТС (субъектов эго- и социосферы) из условий минимума социальной (социально-экологической, социально-экономической, социально-информационной) напряженности [8].

Важнейшим условием возможности осуществления управления ПТС является информационная безопасность. Разработка и реализация проектов (сценариев управления взаимодействием антропогенных и природных компонентов с остальными компонентами ПТС) возможна только при наличии качественного информационного обеспечения, принятия управляющих решений на основе прогнозирования реакции (отклика) конкретных объектов и субъектов ПТС на конкретные управляющие воздействия. Поэтому роль изысканий и мониторинга, задачей которых является

Рис. 3. Принципиальная блок-схема экосистемного управления качеством ПТС [8]



получение достоверной информации о состоянии компонентов ПТС на различных стадиях жизненного цикла объекта управления, чрезвычайно важна [9].

На стадии проектирования, строительства и эксплуатации сооружений метрополитена необходимо проведение инженерно-геологических, инженерно-геодезических и инженерно-экологических изысканий, мониторинга окружающей среды и природно-технических систем.

Инженерно-геологические изыскания на этапе разработки проектной документации проводятся с целью определения и детализации инженерно-геологических условий и уточнения инженерно-геологической обстановки в объеме, необходимом для комплексного изучения инженерно-геологических условий выбранной трассы и прогнозных изменений в период строительства с детальностью, достаточной [5]:

- для выбора оптимального варианта положения трассы в плане и по глубине заложения;
- выбора видов конструкций и способов производства работ, позволяющих вести строительство с минимальным воздействием на окружающую геологическую среду и поверхностную инфраструктуру;
- проектирования перегонных тоннелей, станций, наклонных тоннелей, вертикальных шахтных стволов, других подземных и надземных сооружений.

Инженерно-геологические изыскания на стадии рабочей документации проводятся с целью детализации сведений об инженерно-геологических условиях, уточнения инженерно-геологической обстановки на участках применения специальных методов работ, подготовки мониторинга геологической среды [5].

Результаты инженерно-геологических изысканий должны содержать необходимые и достаточные данные для проектирования подземных сооружений и их комплексов; выполнения расчетов по предельным состояниям, геотехнических расчетов с применением нелинейных моделей грунтов; выполнения долгосрочного прогноза изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории; разработки мероприятий по обеспечению сохранности и безопасной эксплуатации окружающей застройки и подземных сооружений, расположенных в зоне влияния строительства [5].

В период строительства следует устанавливать соответствие инженерно-геологических условий, принятых в проектной и рабочей документации, фактическим на основе обследования инженерно-геологической обстановки при проходке тоннелей, шахтных стволов, котлованов и других выработок для оперативного решения вопросов по увязке полученных данных с производством строительных работ. На участках, представляющих опасность в геологическом и инженерно-геологическом отношении (зоны развития карстовых и суффозионных явлений, оползневые процессы, подтопление, зоны развития неустойчивых грун-

тов и т. д.), в период строительства необходимо предусматривать мониторинг изменения компонентов геологической среды [5].

В период эксплуатации метрополитена необходимо осуществлять локальный мониторинг отдельных компонентов геологической среды на основе сети наблюдательных пунктов для наблюдений за развитием опасных инженерно-геологических процессов, деформациями зданий, земной поверхностью. Локальный мониторинг следует осуществлять по программе с применением геодезических и геофизических методов, зондирования и контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в несущих конструкциях тоннелей, и расположенных в сфере взаимодействия зданий и сооружений, а также на участках развития геологических и инженерно-геологических процессов [5].

В настоящее время в Петербургском метрополитене разрабатывается стандарт предприятия «Руководство по осуществлению геотехнического мониторинга в период эксплуатации искусственных сооружений Петербургского метрополитена». Целью данной работы является создание нормативной базы по осуществлению геотехнического мониторинга в период эксплуатации искусственных сооружений Петербургского метрополитена, повышение качества и эффективности работы искусственных сооружений, совершенствование системы надзора за искусственными сооружениями для обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации в течение срока службы.

Инженерно-геодезические изыскания должны обеспечивать получение топографо-геодезических материалов и данных о ситуации, рельефе местности (в том числе дна водотоков, водоемов и акваторий), существующих зданиях и сооружениях (надземных, подземных) и других элементах планировки, необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий по проектируемой трассе линии, обоснования проектирования, строительства и эксплуатации метрополитена [5].

Изыскания на стадии разработки проектной документации следует проводить по всем вариантам проектируемых трасс. Изыскания на стадии разработки рабочей документации должны обеспечить получение дополнительных топографо-геодезических материалов и данных для доработки генерального плана трассы, уточнения и детализации проектных решений [5].

В состав изысканий для обеспечения строительного-монтажных работ входит [5]:

- определение проектного положения объекта строительства на местности и в подземных горных выработках;
- создание необходимых геодезических и геодезико-маркшейдерских планово-высотных сетей и выполнение различных сопутствующих работ;
- наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений на поверхности и подземных сооружений, в том числе при вы-

полнении локального мониторинга, за опасными природными и техноприродными процессами;

- геодезико-маркшейдерские работы по определению в натуре скрытых подземных сооружений при строительстве, ремонтных и других работах;
- составление исполнительных чертежей подземных и наземных сооружений и другой технической документации.

Инженерно-экологические изыскания (ИЭИ) выполняются для экологического обоснования строительства объектов метрополитена с целью предотвращения, снижения или ликвидации неблагоприятных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения, а также для изучения значимых компонентов природной среды при оценке экологической безопасности объектов метрополитена [5].

Инженерно-экологические изыскания для строительства должны проводиться в три этапа: подготовительный, полевые исследования, камеральная обработка материалов [5].

На подготовительном этапе осуществляются сбор и анализ фондовых и опубликованных материалов и данных о состоянии природной среды, предполевое дешифрирование, поиск объектов-аналогов, функционирующих в сходных природных условиях [5].

В состав полевых исследований могут быть включены [5]:

- маршрутные наблюдения с покомпонентным описанием природной среды и ландшафтов в целом, состояния наземных и водных экосистем, источников и признаков загрязнения;
- эколого-гидрогеологические исследования;
- почвенные исследования;
- геоэкологическое опробование и оценка загрязненности атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод;
- исследование и оценка радиационной обстановки;
- газогеохимические исследования;
- исследование и оценка физических воздействий;
- изучение растительности и животного мира;
- социально-экономические исследования;
- санитарно-эпидемиологические и медико-биологические исследования;
- стационарные наблюдения (экологический мониторинг).

На этапе камеральной обработки материалов проводятся химико-аналитические и другие лабораторные исследования, анализ полученных данных, разработка прогнозов и рекомендаций [5].

При строительстве или реконструкции сооружений метрополитена необходимо выполнять экологический мониторинг, обеспечивающий контроль [5]:

- источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух;
- источников сброса вредных (загрязняющих) веществ в поверхностные воды;
- воздействия образующих отходов;
- состояния загрязнения почв;
- состояния загрязнения подземных вод.

Мероприятия по охране окружающей среды следует разрабатывать на основании данных инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий [5].

Для строящихся объектов и сооружений, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха, необходимо оценивать изменения общего климатического фона в районе строительства, его микроклиматические изменения под влиянием местных факторов подстилающей поверхности, прогнозировать возможные негативные нарушения химического состава, инсоляции, влажностного и ветрового режимов [5].

Размещение подземных сооружений не должно нарушать гидрологический режим существующих водных объектов и гидрогеологические условия прилегающих территорий [5].

При проектировании метрополитена должна быть исключена возможность негативных воздействий на здания, сооружения, памятники истории и культуры. В случае необходимости следует разрабатывать мероприятия по их сохранности, как в период строительства, так и в процессе эксплуатации метрополитена, а также по отдельному заданию проводить археологические изыскания [5].

При разработке инженерно-технических мероприятий по обеспечению устойчивости геологической среды, зданий и сооружений от опасных инженерно-геологических процессов необходимо [5]:

- оценивать характеристику современного состояния геологической среды по основным ее компонентам;
- давать анализ проектных решений и прогноз изменения компонентов геологической среды с учетом существующих и проектируемых техногенных нагрузок на среду;
- разрабатывать основные направления защиты геологической среды от возможных негативных техногенных процессов исходя из конструктивных и технологических особенностей сооружений, глубины заложения, условий их строительства и эксплуатации.

Оценку следует проводить на основании материалов инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий [5].

В прогнозе изменений компонентов геологической среды следует рассматривать динамику изменений режима и загрязнения подземных вод, напряженного состояния грунтового массива и активизации инженерно-геологических процессов. В сложных инженерно-геологических условиях прогноз выполняется методами математического моделирования [5].

Оценку состояния почвенного покрова при открытом способе строительства под-

земных сооружений и строительстве наземных сооружений следует проводить по геохимическому составу почв, степени химического загрязнения и санитарного состояния [5].

При проектировании необходимо выявлять объемы и состав грунтов, извлекаемых при строительстве наземных и подземных сооружений, определять возможность их использования в качестве обратной засыпки сооружений [5].

В зоне влияния подземного строительства необходимо проводить геотехнический мониторинг в соответствии с проектом мониторинга (наблюдательной станции), а также локальный мониторинг компонентов окружающей среды, в том числе организовывать наблюдения за развитием опасных геологических и гидрогеологических процессов [5].

Результаты мониторинга должны использоваться для своевременного определения развития негативных инженерно-геологических процессов под влиянием строительства и определения мероприятий для их предотвращения [5].

Использование понятия природно-технической (геотехнической) системы при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений метрополитена позволяет рассматривать хозяйственную деятельность как взаимодействие природной и технической систем. Посредством проведения мониторинга охраны окружающей среды и ПТС возможно спрогнозировать изменение природных и антропогенных компонентов системы и предусмотреть необходимые компенсирующие мероприятия.

Своевременное принятие управляющих решений позволит оптимизировать хозяйственную деятельность (существующие технологические процессы, применение новых технологий, соблюдение нормативов в области охраны окружающей среды), а также минимизировать негативное воздействие на компоненты природной среды.

Инженерная практика применения экосистемного метода при проектировании и строительстве сооружений метрополитена заключается в разработке и реализации сценариев управления качеством ПТС за счет обеспечения экологической, экономической, технологической (функциональной) и социальной безопасности.

Применение экосистемного подхода к обеспечению комплексной безопасности на стадии проектирования, строительства и эксплуатации сооружений Петербургского метрополитена обеспечит охрану окружающей среды и экологическую безопасность в рамках транспортной стратегии Российской Федерации и государственной политики Санкт-Петербурга.

Ключевые слова

Транспортная стратегия Российской Федерации, городской пассажирский транспорт Санкт-Петербурга, Петербургский метрополитен, природно-техническая система, эко-

системный анализ, управление природно-технической системой, инженерные изыскания, мониторинг.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 01.01.2016 г. № 7 (ред. от 03.09.2016) «О проведении в Российской Федерации Года экологии» // Собрание законодательства Российской Федерации, № 2 (ч. 1), 11.01.2016 г., ст. 321.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р (ред. от 11.06.2014 г.) «О Транспортной стратегии Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации, № 50, 15.12.2008 г., ст. 5977.
3. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 30.06.2014 г. № 552 (ред. от 28.07.2017 г.) «О государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга» на 2015-2020 годы» // <http://www.gov.spb.ru>, 15.07.2014 г.
4. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 28.06.2011 г. № 836 (ред. от 16.10.2013 г.) «Об Отраслевой схеме развития метрополитена в Санкт-Петербурге на 2011–2015 годы с перспективой до 2025 года» // <http://www.gov.spb.ru>, 25.10.2011 г.
5. «СП 120.13330.2012. Свод правил. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003» (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 264). – М.: Минрегион России, 2012.
6. Исаев С. В. Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник – Geographicalbulletin. 2016. № 3 (38). С. 105–113. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-105-113.
7. Королев В. А. Мониторинг геологической среды: Учебник / Под редакцией В. Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995 – 272 с.
8. Цернат А. А. Методологические основы создания технологий третьего тысячелетия для транспортного строительства // Институт на пороге третьего тысячелетия. Труды ЦНИИС. Вып. 203. Юбилейный. – М., ЦНИИС, 2000.
9. Цернат А. А. Экосистемный подход к инженерно-строительной деятельности в области транспортного строительства // Современные проблемы транспортного строительства. Научные труды ОАО ЦНИИС. Вып. 255. М., ОАО ЦНИИС, 2009, С. 166.
10. Шаратов Р. В. Переход от технических к природно-техническим системам // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2 (12). С. 43–46.

Для связи с авторами

Козин Евгений Германович
nzi@metro.spb.ru
Филиппова Юлия Александровна
Filippova.Y@metro.spb.ru



ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ С АКТИВНЫМ ПРИГРУЗОМ ЗАБОЯ НА МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ МЕТРОСТРОЕНИЯ

RAISING EPB PERFORMANCE IN METRO-SIZED MACHINES

Дж. Роби, Д. Уиллис, The Robbins Company, г. Кент, Вашингтон, США

J. Roby, D. Willis, The Robbins Company, Kent, Washington, United States

В Сингапуре применялось более 29 тоннельных буровых машин (ТБМ) с грунтовым пригрузом забоя (EPBM) для проходки единой линии метрополитена длиной 21 км (этап 3 линии Даунтаун). В Москве к 2016 г. добавляется 50 км новых линий метрополитена и 150 км к 2020 г. Китай десятикратно расширит линии своего метрополитена к 2050 г., и их протяженность составит более чем 11700 км. Планируется, что в ближайшие два года в Китае потребуется 250 комплексов EPBM. При столь обширных планах глобального расширения метрополитена повышение результативности EPBM даст немедленный положительный экономический эффект, поскольку проходка тоннелей будет осуществляться за меньшее время и с меньшими затратами. Комплексы EPBM в некоторых проектах недавно установили рекорды производительности. В статье авторы исследуют эти и другие проекты, чтобы выяснить причины, по которым некоторые EPBM работают с более высокими показателями, чем другие, чтобы определить, какие из этих причин находятся под контролем подрядчиков и какие из них – под контролем разработчиков механизированного комплекса, а также каким образом можно получить высокие рабочие показатели в будущих проектах.

Singapore is employing more than 29 earth pressure balance machines (EPBMs) to excavate a single 21 km metro line, Downtown Line 3. Moscow is adding 50 km of new metro line by 2016, 150 km by 2020. China will expand their metro lines tenfold by 2050 to more than 11700 km. China's plans for the next two years require 250 EPBMs. With such extensive global metro expansion plans, increasing EPBM performance would have a monumentally positive economic impact, with tunnels being excavated in less time and at lower cost. EPBMs on several projects have recently set performance records. In this paper, the authors examine these and other projects, searching for clues as to why some EPBMs perform at higher rates than others and attempt to determine which causes are in the control of contractors, which in control of the machine designers and how one might replicate high performance on future projects.

Затраты на рабочую силу составляют значительную часть стоимости строительства тоннелей, и они существенно сокращаются, если проект завершается быстрее. Прочие издержки также сокращаются, если проект может быть завершён быстрее (например, аренда территорий и офисов, накладные расходы и т. п.). В контексте этой статьи мы определили «среднюю недельную скорость проходки» как меру рабочих показателей, по которым судят об успешности проекта. Мы проанализировали данные из многих проектов, чтобы найти причины «высоких» рабочих показателей и высокой средней недельной скорости проходки.

В основе этой статьи лежат данные, которые были собраны из 46 проектов тоннелей, реализованных по всему миру с применением активного пригруза забоя. Полные исходные данные не могут быть открыты для публичного доступа. Подрядчики, консультанты и производители машин бережно хранят эти сведения, поскольку такой опыт приобрета-

ется нелегко и имеет большую ценность для его обладателя, позволяя оценивать стоимость будущих проектов при участии в тендерных конкурсах и в дальнейшем обеспечивать успешную проходку тоннелей. Говоря кратко, если какие-либо знания устойчиво позволяют получать высокую скорость проходки с активным пригрузом забоя, то они представляют собой тщательно оберегаемую, конфиденциальную интеллектуальную собственность успешного подрядчика.

В ходе исследований для написания этой статьи большинство строительных подрядчиков, которые согласились поделиться подробной информацией о конкретных проектах, включая производительность механизированных комплексов всех изготовителей, технические характеристики EPBM, сведения о геологической обстановке и применении кондиционирования (улучшения технологических свойств) грунта и т. д., сделали это лишь при условии, что переданные нам конкретные сведения не будут разглашены третьим сторонам, в

том числе и названия проектов. Подрядчики изъявили желание поделиться своей интеллектуальной собственностью лишь для того, чтобы увидеть результаты этого исследования, а именно: существуют ли какие-то явные предпосылки, которые позволят успешно прогнозировать высокую скорость выполнения проекта с применением активного пригруза забоя?

К сожалению, не по каждому из 46 изученных нами проектов мы получили ответ на все наши вопросы, даже несмотря на то, что были согласны не разглашать эти сведения. Таким образом, представленная нами статья опирается на несколько неполный набор данных. По мере возможности мы также искали данные в открытых источниках информации (то есть в отраслевых периодических изданиях, материалах конференций и т. п.). В результате этого некоторые из сделанных выводов носят более общий, ориентировочный характер, нежели точный статистический анализ, который мы надеялись провести во всех случаях. И тем не менее, на основании этих данных можно сде-

лать ряд четких выводов. В отдельных случаях мы просто будем высказывать мнения, исходя из наших знаний, опыта и обсуждений с другими исследователями относительно того, почему некоторые EPBM работают лучше других.

Проекты и ТБМ

46 ТБМ, рабочие характеристики которых мы проанализировали (средняя недельная проходка в метрах), находились в 11 различных странах и работали в 22 разных проектах. 85 % (39) ТБМ работали на проходке тоннелей метрополитена, 2 % (1) прокладывали тоннели для скоростных железных дорог, 11 % (5) делали канализационные тоннели и 2 % (1) – тоннель под газопровод. Геологические условия, в которых эксплуатировались механизированные комплексы, изменялись в широких пределах: от осадочных горных пород и выветренных пород до ледниковых наносов, гравийных и песчаных грунтов, суглинков и глин. В среднем давление грунта составляло приблизительно 3,8 бар, но при работах в одном из проектов, по имеющимся сведениям, давление грунта было на уровне 13,5 бар. В 28 % (13) проектов давление грунта было менее 2 бар. В 50 % (23) проектов сообщалось о давлении грунта от 2 до 8 бар. В семи проектах не было сообщено об имевших место величинах грунтового давления.

В 56 % проектов была предоставлена некоторая информация о примененном кондиционировании грунта. В некоторых проектах – подробная информация о кондиционировании грунта, либо такая информация была общедоступна из статей, опубликованных в отраслевых периодических изданиях и материалах конференций. К сожалению, приблизительно для 40 % проектов никакой информации о кондиционировании грунта не было предоставлено, и эти сведения получены нами в процессе исследований. Принимая во внимание очевидную важность данного вопроса, а также быстро возрастающий объем знаний по тематике кондиционирования грунта и значение этого факта, было бы полезно иметь больше детальной информации в этой области для обеспечения лучшего статистического анализа при сравнении рабочих показателей механизированных комплексов, в которых применяется кондиционирование

Рис. 1. ТБМ с активным пригрузом забоя, режущий орган которого сильно забит липким грунтом



ние грунта на современном техническом уровне и в которых оно не применяется.

ТБМ были изготовлены тремя разными производителями. Максимальный диаметр рассматриваемых механизированных комплексов составляет 6,95 м, а минимальный – 5,90 м. При среднем диаметре 6,34 м эти механизированные комплексы можно принять в качестве «типичных» ТБМ для метростроения. 44 % режущих органов механизированных комплексов приводились в действие частотно-регулируемым приводом, тогда как лишь для 17 % было сообщено об использовании гидравлического привода режущего органа, в остальных случаях о типе привода не сообщалось. Однако поскольку авторы имеют в целом хорошее представление о преобладающем в данной отрасли типе привода в зависимости от производителя, они склоняются к следующей оценке: вероятно, что более половины механизированных комплексов имеют частотно-регулируемый привод режущего органа, а остальные приводятся в действие гидравлическим приводом.

Наблюдения

Во всех проектах сообщалось о средней еженедельной производительности, исходя из режима работы в две смены по 12 часов, семь дней в неделю; многие из этих сведений могут быть проверены через вторичные источники. Ниже приведены сводные данные о средней недельной скорости проходки ТБМ.

Максимум: 184,8 м/неделя в среднем.

Минимум: 33,7 м/неделя в среднем.

Усредненное значение: 85,5 м/неделя в среднем.

Стандартное отклонение: 36,0 м/неделя в среднем.

Мы сортировали данные несколькими различными способами в поисках тенденций, которые могли бы показать, почему ТБМ в некоторых проектах работали намного лучше, чем в других. Например, мы сортировали данные и в каждом случае искали корреляцию со средней скоростью проходки по следующим критериям:

- диаметр механизированного комплекса;
- тип привода режущего органа (электрический и гидравлический);
- давление в забое;
- длина тоннеля;
- страна, в которой реализован проект, а также ее статус: промышленно развитая / развивающаяся.

Для каждого из этих критериев была обнаружена лишь очень незначительная корреляция с производительностью ТБМ, либо отсутствие корреляции. Например, двое из первой десятки исполнителей проекта находились в Канаде, но там же находились и двое из последней десятки исполнителей. Исполнители из первой десятки приблизительно поровну поделились между развивающимися и развитыми странами. Примечательно, что лидирующий в нашей выборке исполнитель со средним результатом 184,8 м в неделю находился на линии 3 Московского метрополитена.

Лобовое давление в забое

Давление в забое, по-видимому, не имеет корреляции и на самом деле четыре механизированных комплекса, работавших при высоком давлении (6–8 бар) достигали средней недельной скорости проходки 120–179 м/неделя во время реализованной в Абу-Даби стратегической программы расширения сети тоннелей (STEP).

Опыт подрядчиков

Оказалось, что опыт подрядчика имеет некоторую корреляцию с производительностью ТБМ. Все механизированные комплексы, которые достигали средней недельной производительности свыше 100 м/неделя, до этого произвели проходку, как минимум, трех-пяти тоннелей с применением активного пригруза забоя, причем некоторые из них ранее до этого выполнили множество других аналогичных проектов. Все исполнители, занимающие нижние 15 позиций, работали под управлением подрядчиков с небольшим опытом применения активного пригруза забоя, за единственным исключением.

Конвейерные системы выемки породы

Конвейерные системы выемки породы применялись лишь в 15 % проектов (7 из 46). Один из этих проектов находился в нижней четверти списка при скорости исполнения 58 м/неделя, два проекта были в середине списка при скорости исполнения 70 и 72 м/неделя, два имели скорость исполнения выше средней – 95 и 112 м/неделя, а один из них занял первое место в списке при скорости исполнения 184,8 м/неделя. Конвейерные системы могут способствовать созданию условий для высокой производительности, однако сами по себе конвейеры не в состоянии ее обеспечить, что не является неожиданностью для любого из наших опытных читателей.

Кондиционирование грунта

Из нашего анализа следует, что наиболее тесно коррелирующим с высокой производительностью фактором является кондиционирование грунта. Разработка плана кондиционирования грунта для конкретного проекта базируется на испытаниях имеющихся геологических проб при взаимодействии с подрядчиком, изготовителем оборудования для активного пригруза забоя и поставщиком химического реагента для кондиционирования грунта. Планирование и поддержание хорошего режима кондиционирования грунта при помощи качественных химических реагентов, распределяемых из правильно спроектированных систем, установленных на ТБМ, имеет первостепенное значение (рис. 1). Семь из десяти лидирующих исполнителей использовали добавки для кондиционирования грунта (Ground Conditioning GC). Шесть из десяти лидирующих исполнителей применяли GC-реагенты, получая их у квалифицированных отраслевых поставщиков, а также пользовались услугами этих поставщиков GC-реагентов, чтобы определить начальный ре-

жим обработки грунта перед запуском ТБМ и скорректировать режим кондиционирования грунта для обеспечения наилучших рабочих показателей. Подрядчик, поставщик GC-реагентов и производитель оборудования для активного пригруза забоя также заблаговременно проводят плановый осмотр, убеждаются в том, что механизированные комплексы ТБМ оборудованы надлежащим образом, чтобы обеспечить исправную подготовку и нагнетание GC-реагентов.

Важное значение кондиционирования грунта

Корреляция между высокой производительностью и поддержанием надлежащего режима кондиционирования грунта не удивит тех, кто непосредственно принимал участие в работах с применением активного пригруза забоя за последние десятилетия. На рис. 2 приведены рекомендации 1996 г. по использованию добавок для работ с применением активного пригруза забоя от Японского общества инженеров-строителей. Мы установили, что GC-реагенты расширяют диапазон геологических условий, где может успешно применяться активный пригруз забоя, от очень липких глин и до другой крайности – очень крупного гравия ниже горизонта грунтовых вод, то есть на участках, которые раньше были полем деятельности исключительно ТБМ с гидропригрузом.

Состояния грунта упорядочены по консистенции от твердого и полутвердого до пластичного и жидкого. Очевидно, что механизированные комплексы с активным пригрузом забоя не в состоянии эффективно, экономично и безопасно производить выемку материалов на крайних границах этих состояний, особенно ниже горизонта грунтовых вод. Поэтому необходимо обработать грунт, чтобы превратить его в материал, выемка которого может производиться эффективно.

Кондиционирование грунта: с чего начать ознакомление, рекомендации

Хорошим отправным пунктом для понимания основ технологии кондиционирования грунта служит документ «Технические требования и рекомендации по применению специализированных продуктов для механизированной проходки тоннелей» (Specification sand Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling), опубликованный в 2001 г. организацией EFNARC (European Federation of National Associations Representing for Concrete), Европейской федерацией, которая основное внимание уделяет специализированным строительным химикатам и бетонным системам. В 2005 г. этот документ был обновлен, чтобы включить в него также ТБМ для скальных пород. EFNARC взаимодействует с Европейской комиссией и техническими комитетами, а также с другими группами, участвующими в унификации технических требований и стандартов в рамках Европы. Мы рекомендуем документ EFNARC нашим читателям в связи с содержащимися в нем значительным объемом ценной информации (рис. 3).

Тип проходческого щита		EPBM			С гидро-пригрузом
Тип грунта		Сопротивление пенетрации (SPT) N	Без добавок	С добавками	
Аллювиальный связный песок	Ил и глина	0-2	ДА	ДА	ДА
	Песчаный ил, песчаная глина	0-5	ДА	ДА	ДА
		5-10	ДА	ДА	ДА
Делювиальный связный грунт	Суглинок и глина	10-20	НЕТ	ДА	ДА
	Песчаный суглинок, песчаная глина	15-25	НЕТ	ДА	ДА
		более 25	НЕТ	ДА	ДА
Песчаный грунт	Песок с илистой глиной	10-15	ДА	ДА	ДА
	Несвязный песчаный грунт	10-30	НЕТ	ДА	ДА
	Связный песок	более 30	НЕТ	ДА	ДА
Гравий с булыжниками	Несвязный гравийный грунт	10-40	НЕТ	ДА	ДА
	Связный гравийный грунт	более 40	НЕТ	ДА	ДА
	Гравий с булыжниками	НЕТ ДАННЫХ	НЕТ	ДА	НЕТ
	Крупный гравий, булыжники	НЕТ ДАННЫХ	НЕТ	НЕТ	НЕТ

Рис. 2. Таблица, опубликованная Японским обществом инженеров-строителей (1996), с рекомендациями в отношении использования добавок для применений с активным пригрузом забоя

EFNARC рекомендует рассматривать три основных типа пенных реагентов для кондиционирования грунта (рис. 4):

Тип А: высокая диспергирующая способность (разрушает глинистые составляющие) и/или способность к образованию покрытия (ослабляет эффекты разбухания);

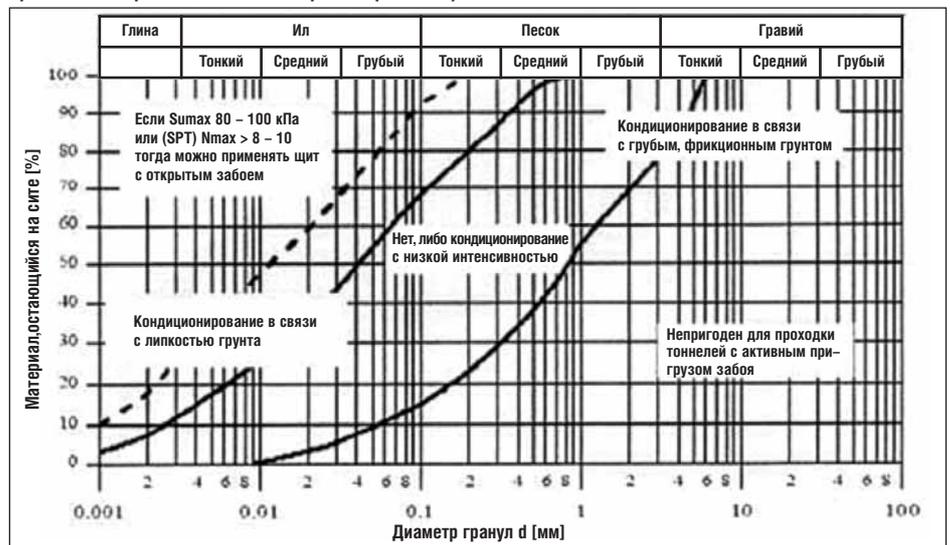
Тип В: общего назначения, обладает средней стабильностью;

Тип С: высокая стабильность и свойства, предотвращающие разделение грунта на фракции, чтобы подготовить и поддержи-

вать связный грунт в таком водонепроницаемом состоянии, насколько это возможно.

Тендерная документация для большинства проектов метрополитена включает в себя исчерпывающий геотехнический базовый отчет (GBR). Отчет GBR, как правило, будет содержать общее описание геологических условий, фотографии образцов, сведения о типах и прочности скальных пород, информацию о грунтовых водах, анализ гранулометрического состава, содержание влаги в глинах, водопроницаемость и т. п. Имея в

Рис. 3. Рекомендации EFNARC по гранулометрическому составу, для которого может применяться активный пригруз забоя и необходимо кондиционирование грунта, в случае грунтов разного типа (разграничение произведено лишь ориентировочно), EFNARC, 2005 г.



Грунт	Типы пенного реагента				Полимерные добавки
	A	B	C	FIR	
Глина	↕	↕	↕	30–80	Полимер, препятствующий закупорке
Песчаная глина – ил				40–60	Полимер, препятствующий закупорке
Песок – глинистый ил	20–40			Полимер для регулирования консистенции	
Песок	30–40	Полимер для регулирования связности и консистенции			
Глинистый гравий			25–50	Полимер для регулирования связности и консистенции	
Песчаный гравий			30–60	Полимер для регулирования связности и консистенции	

Рис. 4. Рекомендации EFNARC по типам продукта, пенного реагента и полимера для различных грунтов (значения FIR являются лишь ориентировочными), EFNARC, 2005 г.

распоряжении отчет GBR, можно использовать рекомендации EFNARC относительно кондиционирования грунта в качестве превосходного отправного пункта. В процессе обсуждений с поставщиками GC-реагента подрядчик, который выиграл тендер и имеет отчет GBR, должен быть в состоянии составить начальный план в отношении химических реагентов для кондиционирования грунта и сопутствующих затрат. Кроме того, подрядчик вместе с поставщиком GC-реагента может скоординировать свои действия с потенциальным изготовителем комплекса EPBM, чтобы этот EPBM был гарантированно оборудован системами подачи GC-реагента, которые удовлетворяют требованиям плана кондиционирования грунта.

В дополнение к информации в контрактных документах рекомендуется пойти еще дальше, проведя испытание в лаборатории.

Испытание на кондиционирование грунта в специализированной лаборатории для проекта с активным пригрузом забоя

На сегодняшний день возрастает число лабораторий в частных компаниях и в университетах, где можно произвести целый ряд испытаний, специально предназначенных

Рис. 5. Испытательный стенд. Обработанный образец помещается в бочку слева и подвергается воздействию давления, после чего извлекается из бочки посредством шнекового конвейера справа (фотография любезно предоставлена компанией Marei-UTT)



для того, чтобы определить режим кондиционирования грунта для конкретного проекта с применением активного пригруза забоя. Обычно в этих лабораториях смешиваются образцы грунта, взятые на месте производства работ и имеющие естественное содержание влаги, с различными пенными реагентами и полимерами, после чего производится испытание обработанных образцов (рис. 5). Одним из таких простых испытаний является испытание на осадку конуса, которое обычно производится для подвижной бетонной смеси для определения ее пластичности. (Это испытание также может выполняться на месте производства работ, если там имеется соответствующее оборудование). Как было отмечено в статье, посвященной определению характеристик кондиционирования грунта для механизированной проходки тоннелей: «...проведенные испытания показали, что испытание на осадку конуса служит хорошим индикатором для определения общего поведения кондиционированного грунта и благодаря своей простоте может применяться на этапе предварительного проектирования, но в особенности – на месте производства работ, чтобы держать под контролем развитие процесса кондиционирования во время выемки грунта», (Borio, 2007 г.).

Результаты подобных испытаний могут дать очень хорошее указание на отправную точку при подборе добавок для кондиционирования грунта в начале проекта, включая рекомендованные типы пенного реагента и полимера наряду со следующими показателями:

Cf – концентрация пенного реагента в воде, которую можно измерять в объемных процентах (японский стандарт 1986 г.) или в весовых процентах (EFNARC). Эта величина изменяется от 0,1 до 8 % и зависит от свойств грунта, а также от конкретного выбранного пенного реагента;

FER – кратность пены (Foam Expansion Ratio.). Значения обычно находятся в интервале от 6 до 18, представляя собой отношение воздуха к пене, где, например, 18 – это 17 частей воздуха и 1 часть водного раствора пенного реагента;

FIR – норма нагнетания пены (Foam Injection Ratio). Это соотношение между объемом пены, нагнетаемой через режущий роторный орган, и объемом подлежащего выемке грунта в месте его залегания. Обычно эта величина находится в интервале от 10 до 80 % согласно рекомендациям EFNARC, но в японском стандарте превышает 100 %, доходя до 130-процентного отношения объема пены к объему грунта в месте залегания. (Читателю следует принять во внимание, что фактическое отношение объема пены к объему грунта в камере будет зависеть от давления в камере, поскольку воздух в пене сжимается под давлением);

Ср – концентрация полимерного продукта в воде, обычно в интервале от 0,1 до 2,0 %. В случае растворов пенообразователь/полимер эта величина находится в интервале от 0,3 до 10 %.

Некоторые пенные реагенты поставляются с полимерами, так что необходимо следовать только рекомендациям в отношении пены.

Испытания на износ, которые проводит лаборатория, дадут подрядчику показатель улучшения характеристик износа, которое обеспечивается рекомендованными полимерами и пенным реагентом. Хотя это испытание не даст окончательных численных значений, оно послужит ориентиром. Например, если испытание на износ показывает уменьшение износа испытываемого образца на 25 % благодаря добавкам, то можно рассчитывать на пропорциональное уменьшение износа резцов, рыхлителей и режущего органа в целом. Если принять во внимание опасность затрат времени и финансовых средств в случае технических работ при повышенном давлении, то уменьшение износа является одним из самых сильных стимулов иметь правильно спланированный режим кондиционирования грунта.

Проектирование EPBM для кондиционирования грунта

Изготовитель EPBM обязательно должен быть осведомлен о плане режима GC (кондиционирования грунта) и о том, что в комплекс включены соответствующие пеногенераторы, станция подготовки полимера, воздушные компрессоры и системы подачи бентонита, а также о том, что надлежащие точки распределения и нагнетания предусмотрены в режущем органе, ножевой секции и шнековом конвейере. Эти системы должны быть полностью испытаны и приняты до начала проходки. Были проанализированы результаты 46 проектов, и многочисленные случаи из практики указывают, что это поле для действенной координации, значение которой часто недооценивают. Тогда как небольшое заблаговременное усилие на стадии проектирования ТБМ может привести к существенно улучшенным рабочим показателям на протяжении всего проекта.

Для правильно спроектированной системы кондиционирования грунта на механизированной

рованном комплексе ЕРВМ требуются входные данные от подрядчика и от поставщика GC-добавок (рис. 6). С другой стороны, кондиционирование грунта не является точной наукой – отклонения и изменения геологических условий могут привести к изменениям в первоначальных требованиях. Таким образом, важно иметь план для каждой прогнозируемой группы грунта, а также способ реализации изменений в кондиционировании.

Проектная группа должна согласиться с планом кондиционирования грунта и обеспечить, чтобы конструкция ЕРВМ и поставляемое оборудование для кондиционирования полностью поддерживали этот план. Вот некоторые моменты, которые должны быть рассмотрены.

- Вероятные количества пенного реагента, полимеров и бентонита (или другого мелкозернистого материала), которые будут применены, нормы потребления и расчетные нормы производительности ТБМ.

- Размеры тары, которая будет использоваться для каждого GC-реагента.

- Логистика; перемещение и загрузка-разгрузка GC-реагентов/тары в тоннель и из тоннеля.

- Спецификация дозирующих установок.
- Спецификация пеногенератора.
- Спецификация специально предназначенного для этой цели воздушного компрессора.
- Спецификация станций подготовки бентонита.

- Размещение вышеупомянутых систем в ТБМ и их дублирование.

- Количество и расположение форсунок для нагнетания пены (режущий орган и шнековый конвейер).

- Количество и расположение форсунок для нагнетания бентонита (режущий орган, смесительная камера, шнековый конвейер, проходческий щит).

- Системы для управления в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах.

- Расположение органов настройки системы, а также возможность «блокировки» для предотвращения несанкционированных настроек.

- Количество и расположение дополнительных трубопроводов воды, проложенных к смесительной камере.

Относительно последнего пункта: важно иметь возможность нагнетания воды в камеру в дополнение к GC-реагентам. Если грунт слишком сухой, то с гораздо меньшими затратами использовать воду для увлажнения грунта, а затем применять GC-реагенты для кондиционирования, чем использовать одни только GC-реагенты.

В большинстве случаев лучше нагнетать все GC-реагенты из режущего органа, поскольку при этом для GC-реагентов обеспечивается наилучшая возможность совместного течения и тщательного перемешивания подлежащего выемке материала. Однако существуют периоды времени, когда выгодней нагнетать GC-реагенты в смесительную камеру. Например, имеет смысл нагнетать

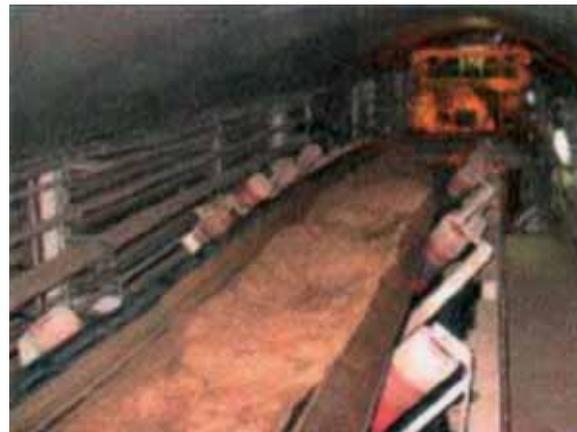


Рис. 6. Илистая глина до и после обработки кондиционерами грунта (фотография любезно предоставлена компанией Condat)

тать бентонит во время остановки механизированного комплекса, потому что пена будет сжиматься, со временем оставляя воздушный пузырь в верхней части камеры и воду в нижней части. При определенных условиях может оказаться необходимым производить нагнетание непосредственно внутри шнекового конвейера, чтобы сформировать пробку или уменьшить трение и крутящий момент на шнековом конвейере. Проектируя ЕРВМ под использование кондиционирования грунта, важно помнить, что системы должны быть спроектированы с учетом требований гибкости применения и резервирования. Правильно спроектированный комплекс ЕРВМ даст пользователю возможность применять все GC-реагенты (воду, пенный реагент, полимеры и бентонит) в любом сочетании на совокупности точек нагнетания в режущем органе, в смесительной камере и внутри шнекового конвейера. Кроме того, по причине опасности и трудностей, связанных с выполнением ремонтных работ за лобовой перегородкой, рекомендуется продублировать распределительный трубопровод.

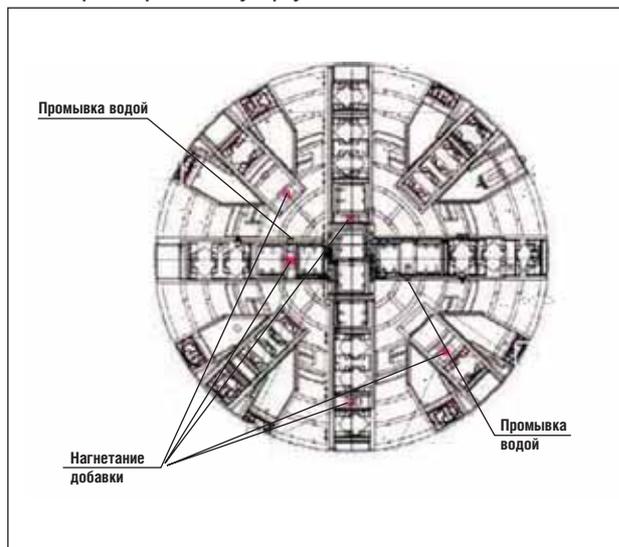
Отверстия режущего органа для нагнетания пены

Режущие органы ТБМ с активным пригрузом забоя должны проектироваться с отверстиями определенного размера, которые расположены заданным образом и в необходимом количестве. На рис. 7 показан пример расположения отверстий для нагнетания добавок на режущем органе ТБМ с активным пригрузом забоя диаметром 6,6 м. Эти отверстия должны обеспечивать возможность нагнетания пены, полимера, бентонита или любой их смеси и должны быть расположены таким образом, чтобы первое отверстие было как можно ближе к центру ре-

жущего роторного органа. Остальные отверстия следует располагать с уменьшением радиальных интервалов по мере их приближения к внешней окружности режущего органа. Нет необходимости, чтобы отверстия достигали наибольшего радиуса режущего органа, поскольку это зона самого быстрого движения и, таким образом, наилучшего перемешивания. Для режущих головок «метростроевского размера» диаметром от 6 до 7 м стандартный вариант – это не менее пяти отверстий для нагнетания, при этом все трубопроводы имеют внутренний диаметр приблизительно 40 мм (1,5 дюйма). Для каждого нагнетательного отверстия в режущем органе ТБМ с активным пригрузом забоя с обеих сторон отверстия должны быть установлены защитные наконечники со вставками из карбида вольфрама, чтобы обеспечивать защиту в обоих направлениях вращения режущего роторного органа.

По мере увеличения размеров режущего органа ТБМ с активным пригрузом забоя, разумеется, необходимо делать больше отверстий. Например, в режущих органах

Рис. 7. Режущий орган ТБМ с активным пригрузом забоя диаметром 6,6 м с пятью отверстиями для нагнетания добавок (показаны розовым цветом) и с двумя отверстиями для нагнетания воды, чтобы предотвратить закупорку



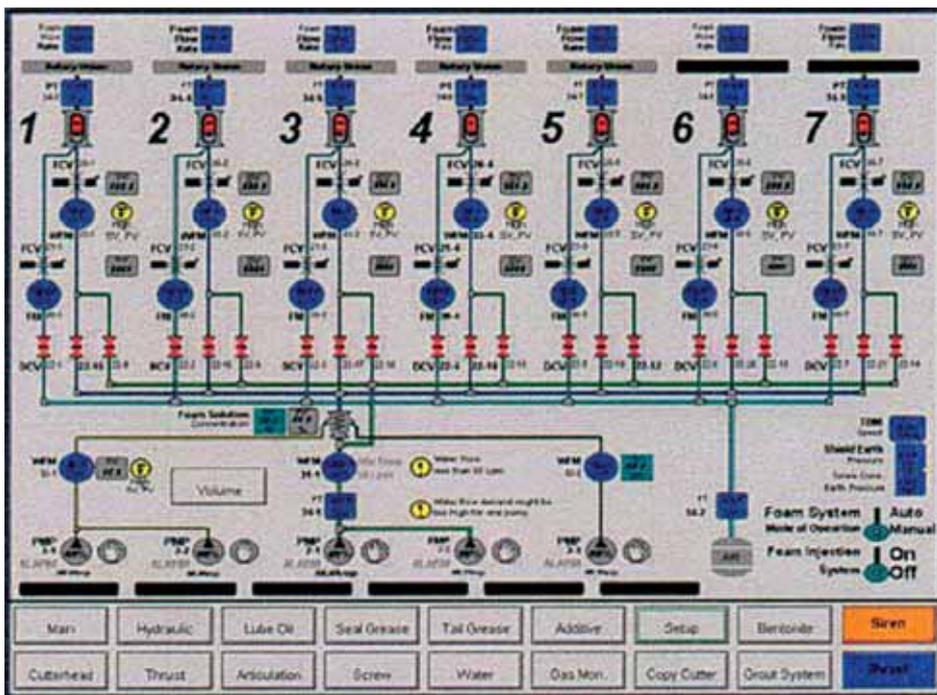


Рис. 8. Главный экран системы для работы с пеной на дисплее (фотография любезно предоставлена компанией Robbins)



Рис. 9. Хорошо кондиционированная глина поступает со шнекового конвейера на ленточный конвейер (фотография любезно предоставлена компанией Marei-UTT)

ТБМ с активным пригрузом забоя диаметрами 9 и 10 м используется семь отверстий для нагнетания добавок, при внутреннем диаметре трубопроводов приблизительно 50 мм (2 дюйма).

Рекомендуется снабдить шнековый конвейер не менее чем тремя нагнетательными отверстиями диаметром от 50 до 100 мм (от 2 до 4 дюймов), причем одно из них должно быть расположено как можно ближе к лобовой перегородке щита, а остальные – располагаться вдоль конвейера. В лобовой перегородке должно быть не менее десяти нагнетательных отверстий диаметром 50 мм (2 дюйма), причем хотя бы одно из них должно быть расположено непосредственно вблизи от любой стороны входа шнекового конвейера, а остальные распределены приблизительно равномерно по перегородке.

Следует отметить, что системы кондиционирования грунта (пеногенератор, насосы подачи полимера, насосы подачи бентонита

и водяные трубопроводы) не будут подсоединены ко всем нагнетательным отверстиям, которые предусмотрены в ЕРВМ. Имеет место существенный избыток нагнетательных отверстий по сравнению с количеством нагнетательных трубопроводов для кондиционирования грунта. Скажем еще раз: важно обеспечить гибкость применения и резервирование, чтобы подрядчик мог корректировать обработку грунта по мере необходимости для достижения успеха на основе текущих результатов.

Кабина оператора и программное обеспечение

Кабина оператора для ЕРВМ с сенсорными экранами привычного человеко-машинного интерфейса обычно имеет несколько экранов, которые выделены для систем кондиционирования грунта (рис. 8).

Система для работы с пеной, как правило, будет иметь один экран подготовки к работе (для настройки параметров Cf, FIR и FER) и один рабочий экран, где оператор может контролировать состояние в автоматическом режиме или управлять системой в ручном режиме.

FIR, повторим еще раз, это процентное соотношение между объемом нагнетаемой пены и объемом подлежащего выемке грунта в месте его залегания. Поскольку объемный поток выемки грунта зависит от скорости проходки ЕРВМ, скорость нагнетания пены может изменяться вместе со скоростью проходки ТБМ с активным пригрузом забоя, чтобы поддерживать постоянную величину FIR, то есть одинаковую пропорцию пены и грунта в любой момент времени. При этом выгодно работать в автоматическом режиме, чтобы поддерживать стабильное состояние кондиционирования грунта.

Разумеется, существуют аналогичные опции на операторских экранах управления для настройки параметров полимера, Ср и FIR.

Интерфейс может иметь дополнительный экран, который показывает суммарные объемы воздуха, воды, пены и полимеров, которые были закачаны в течение некоторого периода времени. Разумеется, эти показания могут быть сброшены для нулевого отсчета.

Прогнозируемые геологические условия проекта влияют на окончательную конструкцию ряда элементов ЕРВМ: режущего органа, режущего инструмента, шнекового конвейера (конвейеров), систем кондиционирования грунта, систем тампонажного раствора и т. п. Однако стоит отметить: если подрядчик, поставщик GC-реагентов и конструкторы ТБМ работают вместе, то это может благотворно повлиять на конструкцию режущих органов и конвейеров в плане повышения производительности щита ТБМ и уменьшения износа его элементов (рис. 9).

Выводы

Изначально мы имели намерение попытаться вывести ряд простых высококачественных рекомендаций, следование которым обеспечивает большую вероятность того, что ЕРВМ по возможности достигнет наилучшей производительности в тоннелях характерного для метростроения размера. Ниже приведены эти рекомендации, некоторые из них продиктованы просто здравым смыслом и уже известны опытным пользователям ЕРВМ, а некоторые из них были подсказаны в последнее время отдельными авторами, работающими над тематикой кондиционирования грунта.

Рекомендации

Геологические пробы

Перед проведением тендерного конкурса владелец проекта должен пригласить обладающую необходимым опытом фирму, которая занимается геологическими/гидрогеологическими испытаниями, чтобы провести столько испытаний и собрать образцы для испытаний в стольких точках вдоль линии прохождения тоннеля, насколько это возможно и целесообразно. По возможности образцы берутся на фактической глубине прохождения тоннеля. Следует получить достаточное количество образцов, чтобы предоставить участвующим в тендерном конкурсе подрядчикам возможность произвести лабораторные испытания образцов, прежде чем сделать тендерное предложение. Если это невозможно, то владелец или его консультанты должны провести такие лабораторные испытания, в результате которых можно разработать базовые начальные рекомендации по кондиционированию грунта с участием одного или нескольких поставщиков химических реагентов. Это позволит подрядчикам, принимающим участие в тендере, внести поправки в свои коммерческие

бюджеты и графики работ в связи с повышением производительности, которой можно обоснованно ожидать в проекте благодаря надлежащему применению кондиционирования грунта.

Лабораторные испытания для получения спецификации на кондиционирование грунта

Если владелец не предоставляет подрядчикам результаты лабораторных испытаний геологических образцов, то со стороны подрядчика будет предусмотрительным произвести эти испытания за свой счет, чтобы получить рекомендованный режим кондиционирования грунта от опытного поставщика химических реагентов для тоннелепроходческих работ с активным пригрузом забоя. Результаты этих испытаний позволят уйти далеко вперед, обеспечивая наилучшую возможность достичь высокой производительности в проекте, а также давая участвующему в тендере подрядчику много информации о вероятных затратах на реагенты для кондиционирования грунта.

Конструкция EPBM

Хотя кондиционирование грунта и является чрезвычайно важным, столь же важно, чтобы подрядчик вместе с изготовителем механизированного комплекса детально проанализировал вероятные геологические, гидрогеологические условия и величины грунтового давления в проекте, а также обсудил их влияние на конструкцию EPBM, включая такую же себя:

- оснащение режущего органа: дисковые шарошки, скребки, резцы, наконечники и т. п.;
- коэффициент открытой части режущего органа;
- тип шнековых конвейеров: со спиральной лентой или с валом;
- количество и длина шнековых конвейеров;
- требования к абразивно-стойкой облицовке: режущего органа, смесительной камеры, стержневыхрыхлителей, спирали и кожуха шнекового конвейера и т. п.;
- конструктивное решение, связанное с лобовым давлением: лобовойперегородки, типоразмера щитового домкрата, типоразмера артикуляционного домкрата, уплотнений хвостовой секции проходческого щита, уплотнений главного подшипника, призабойной камеры и ножевой секции, конструкции системы подачи воздуха для дыхания, воздушных компрессоров и т. п.;
- системы подготовки и подачи пены для кондиционирования грунта, полимера и бентонита, воздушные компрессоры и т. п.

Координация деятельности и спецификация оборудования для кондиционирования грунта

На ранней стадии комплектования/проектирования EPBM подрядчик, поставщик химических реагентов и поставщик EPBM должны встретиться и обсудить лаборатор-

ные результаты кондиционирования грунта. Должно быть достигнуто соглашение относительно систем, которые необходимы в EPBM для надлежащего нагнетания согласованных химических реагентов в соответствующие места EPBM (например, режущий орган, лобовая перегородка/смесительная камера, точки шнекового конвейера и т. д.). Должно быть достигнуто соглашение относительно технических требований к пеногенератору, вероятных диапазонов параметров Cf, Cp, FER, FIR. Также следует убедиться в том, что вычисления для определения типоразмера установок (например, воздушных компрессоров) учитывают вероятные величины лобового грунтового давления, под которым будет работать EPBM.

Испытание кондиционирования грунта в рабочих условиях

На месте производства работ должна существовать возможность производить испытание реагентов для кондиционирования грунта в рабочих условиях, чтобы вносить поправки во время проходки тоннеля без необоснованного простоя механизированного комплекса. Как минимум, в оборудовании для испытаний должно входить следующее:

- пеногенератор лабораторного масштаба;
- 5-литровый смеситель для тяжелых условий работы, с тремя скоростями и стандартными мешалками;
- вибрационный столик DIN (30-сантиметровый столик) со стандартным конусом цементного раствора (испытание на осадку конуса);
- градуированный контейнер емкостью 1 или 2 л (пластмассовый или из небьющегося стекла);
- весы, обеспечивающие точность до 0,1 г;
- секундомер;
- калиброванный стеклянный или прозрачный пластмассовый мерный цилиндр с перфорированным основанием, емкостью 1 л;
- разные калиброванные пластмассовые контейнеры объемом до 2 л;
- градуированный мерный цилиндр объемом 50 мл;
- фильтр-воронка емкостью 1 л с невпитывающим фильтром.

Запуск EPBM, кондиционирование грунта и подготовка к работе лаборатории на объекте

В начале проходки на месте производства работ должны быть представители от поставщика химических реагентов и от поставщика EPBM, чтобы вместе с подрядчиком вносить всякого рода поправки в режим кондиционирования грунта, чтобы получить оптимальные рабочие показатели EPBM. Также этот период времени можно использовать для того, чтобы обеспечить правильность выполнения испытаний кондиционирования грунта, производящихся на объекте, включая обучение персонала, которое может потребоваться.

Кондиционирование грунта в качестве основного из исследованных здесь факторов, которые влияют на скорость проходки, представляет собой первую линию влияния со стороны подрядчика / поставщика добавок / поставщика оборудования на то, каким образом произойдет выемка материала. План кондиционирования грунта, реализованный перед режущим органом, воздействует на весь рабочий процесс, поскольку материал должен образовывать поток через механизированный комплекс, из передового забоя тоннеля, по поверхности и с объекта. Этот план влияет на каждый элемент рабочего процесса, начиная с числа замен режущего инструмента и вплоть до объема работ по очистке в передней части тоннеля и на поверхности из-за разлива/просыпа грунта. Если принять во внимание это глобальное воздействие кондиционирования грунта, то становится вполне очевидным, что темпы проходки тесно с ним коррелируют. Авторы полагают, что именно это доминирующее влияние, которое оказывает хороший план кондиционирования грунта в сочетании с правильно спроектированным для исполнения этого плана комплексом EPBM, является одним из самых мощных среди доступных инструментов достижения большого успеха проекта.

Ключевые слова

Кондиционирование грунта, грунтовый пригруз забоя.

Ground Conditioning, earth pressure balance.

Список литературы

1. Daniele Peila, Luca Boro, Sebastiano Pelizza, Enrico Dal Negro, Alessandro Boscaro and Richard Schulkins, *Lab Test for EPB Ground Conditioning («Лабораторные испытания для кондиционирования грунта при активном пригрузе забоя»), Tunnel sand Tunneling International, September 2011, pg. 48–50.*
2. Richard Schulkins, Alessandro Boscaro and Enrico Dal Negro, *Ground Conditioning in Practice («Кондиционирование грунта на практике»), Tunneling Journal, September 2011, pg. 32–36.*
3. E. Dal Negro, A. Boscaro, D. Michelis, C. Campinoti, D. Nebia, *Ground Conditioning: STEP Abu Dhabi sewer project («Кондиционирование грунта: проект STEP канализации в Абу-Даби»), World Tunnel Congress 2013, Geneva.*
4. EFNARC, *Specifications and Guidelines for the use of specialist products for Mechanized Tunneling (TEM) in Soft Ground and Hard Rock, («Технические требования и рекомендации по применению специализированных продуктов для механизированной проходки тоннелей (ТТМК) в рыхлом грунте и скальных породах»), April 2005.*
5. Japan Society of Civil Engineers, *Standard Specifications for Tunneling: Shield Tunnels (Японское общество инженеров-строителей, «Стандартные спецификации для проходки тоннелей: тоннели, сооружаемые щитовым способом»).*



ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ ТОННЕЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С. В. Мазеин, заместитель руководителя Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России, д. т. н.

Статья содержит отзыв о книге профессора Е. М. Пашкина, в которой приводятся научно-практические результаты инженерно-геологических исследований при строительстве тоннелей гидротехнического и транспортного назначения. Книга вызывает безусловный интерес со стороны широкого круга читателей, включая инженеров-геологов.



Недавно вышедшее второе, исправленное и дополненное издание монографии «Инженерно-геологические исследования при строительстве тоннелей» вызывает безусловный интерес со стороны широкого круга читателей – от студентов вузов до проектировщиков и строителей, профессиональная направленность которых связана с гидротехническими и транспортными тоннелями. Данная статья-рецензия на издание, которое действительно утоляет «информационный голод» у тоннельщиков-исследователей и геологов, напоминает о содержании и основных выводах книги, а также будет содержать несколько ремарок рецензента. Основное содержание статьи было опубликовано в журнале «Инженерная геология» [2].

Рецензент сразу оговаривается, что автор книги – известный ученый, профессор кафедры инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета, доктор геолого-минералогических наук Евгений Меркурьевич Пашкин изначально прошел научную школу подземного гидротехнического строительства, поэтому самый распространенный термин в его монографии – «тоннель», традиционно употребляемый подземными гидротехниками. Поскольку рецензент работает в Тоннельной ассоциации России, занимающейся преимущественно подземным транспортным строительством, то в своей рецензионной статье он будет употреблять термин «тоннель» соответственно этим традициям.

Своим кропотливым научным трудом, изложенным в данной монографии, ее автор обосновывает необходимость создания методов инженерно-геологической оценки массива горных пород как базиса для принятия инженерных решений, технологических и расчетных схем, в частности, позволяющих использовать совместимые с геологическими особенностями массива тонне-

лепроходческие комплексы. К слову сказать, в развитии своих исследований автор на высоком уровне мировых тоннельных конгрессов активно продвигает идею использования методов инженерно-геологической диагностики средствами измерений во время проходки тоннелей современными комплексами [3].

Монография Е. М. Пашкина не только интересна ретроспективным обзором прошлых геологических исследований для горных тоннелей, но и актуальна постановкой инженерно-геологических задач перед владельцами современных технологий тоннелестроения. Остановимся на содержательных аспектах в главах данной книги.

Как и положено фундаментальным исследователям – давать термины и определения – в первой главе книги автор приводит понятие «массив горных пород», рассматривая его как сложную систему в плане структуры и неопределенности своего динамического состояния. При этом достаточно логично выделяется три уровня иерархии инженерно-геологических элементов: элементарный блок, структурно-тектонический блок и агломерат структурно-тектонических блоков. Автор приходит к важному выводу, что материальная основа геосистемы «массив горных пород» не то же самое, что ее элементарные блоки.

Далее дается понятие «природно-технической геосистемы» (ПТГ), возникающей в процессе сооружения подземных выработок в массиве горных пород. Подземная технология сооружения вызывает появление отрицательных обратных связей, стремящихся стабилизировать ПТГ, и провоцирует появление источников возмущения, нарушающих устойчивость горных пород – то есть появление положительных обратных связей. К возмущениям здесь Е. М. Пашкин относит процессы подземного выветривания, формирования зон пониженных напряжений, обводненность массива, появления трещин и т. п., сопровождающая описания процессов конкретными примерами.

Автор отмечает, что сформулированные принципы системного подхода должны быть направлены на комплексное изучение массивов горных пород и прогнозирование реакции геологической среды на намечаемое строительство и эксплуатацию тоннельных сооружений, с чем нельзя не согласиться для обеспечения качественных изысканий и проектирования подземного строительства.

Вторая глава посвящена роли структуры в формировании инженерно-геологических условий строительства тоннелей. Для оценки устойчивости горных пород автор рассматривает породный

массив как узловую конструкцию, в которой могут быть и ослабленные, и усиленные элементы. При такой схематизации массива деформации происходят в зависимости от его конструкции, состава и состояния элементов по принципу «слабого звена». При анализе устойчивости горных пород автором за основу логично принято структурное объяснение тех явлений, которые наблюдаются в процессе проходки тоннелей. И это важное положение дополняется структурной общностью массивов горных пород горно-складчатых областей. Поскольку строительство тоннелей в последние годы дает огромное количество материалов по вывалам породы в выработки, то эти объективные источники информации служат, как правильно утверждает автор, основой прогноза устойчивости подземных выработок. В причинное объяснение образования вывалов автор включает поиск необходимого характера связи между вывалами и различными геологическими факторами.

Из структурных элементов, наиболее влияющих на устойчивость пород в подземных выработках, автор выделяет трещинную тектонику и разрывные нарушения.

Применительно к комбайновой проходке тоннелей Е. М. Пашкин отмечает, что на скорость проходки влияют не только тип и частота плоскостей нарушений, но и ориентирование трещин по отношению к оси тоннеля.

Определяющее значение в формировании крупных вывалов в сводах и стенках подземных выработок традиционно имеют крупные тектонические трещины с заполнителем из глины, дресвы и щебня.

Автор также приводит реальные примеры породных конструкций, обеспечивающих устойчивость различных подземных выработок и выполняющих функции каркаса, ребер жесткости, арочных ребристых конструкций из клиновых блоков. При этом убедительно утверждение, что породные конструкции часто формируют поверхность выработок, определяя их сопротивляемость воздействию негативных факторов.

В третьей главе книги ее автор рассматривает влияние различных геологических факторов на формирование инженерно-геологических условий строительства тоннелей.

В качестве гипогенных факторов рассматриваются гидротермальные процессы, приводящие к естественной геологической мелиорации горных пород. Автором приводится наглядный пример залечивания трещин гидротермальным кальцитом.

Рассматривается также весьма распространенное влияние обводненности на устойчивость пород. Суффозионный процесс, всегда протекающий в трещинах по периметру выработки, действительно приводит к вымыванию или растворению заполнителя трещин, снижению устойчивости пород и образованию вывалов. Обводненность также ведет к изменению физического состояния глинистых пород. Притоки и прорывы воды в подземные выработки существенно усложняют ведение горных пород и нередко являются причиной задержек проходческих работ. Во всем этом правота автора книги подтверждают многие знакомые нам исторические примеры.

Автор книги подчеркивает, что при инженерно-геологических исследованиях устойчивости массива крайне мало уделялось внимания процессам подземного выветривания пород, агентами которого являются вода, углекислота, изменение температуры и влажность воздуха. Одним из существенных факторов подземного выветривания горных пород являются процессы проходки выработка – дробление пород взрывом, измельчение буровым инструментом или колесно-гусеничными механизмами. Автор утверждает, что в выветрелых глинистых породах недопустима установка анкерной крепи, так как может происходить обрушение уже при бурении шпуров с промывкой водой. С этим рецензент согласен, поскольку сам неоднократно был свидетелем вынужденного «сухого» бурения шпуров под анкерную крепь выработок в аргиллитах.

Е. М. Пашкиным описаны примеры набухания сульфатных, а также глинистых пород в процессе строительства тоннелей, в частности, процессы вспучивания подошвы тоннелей. В конце главы сделан не вызывающий сомнения вывод, что на образование вывалов трещиноватость горных пород влияет значительно сильнее, чем другие свойства массива.

Четвертая глава монографии рассматривает нарушение устойчивости горных пород при строительстве тоннелей, с основными чертами и условиями образования вывалов, как наиболее распространенного и опасного горно-геологического явления, с зависимостями их образования от структурных условий массива горных пород и от технологических факторов. Вывалы образуются, несомненно, по развитым в массиве системам трещин. Качественно все вывалы по условиям образования автор предлагает делить на три группы, связанные с мгновенным хрупким разрушением путем распространения «бегущей трещины» от БВР, с процессами подземного выветривания по трещинам, с медленным пластическим течением перемятых горных пород. С определенным приближением аппроксимируя форму вывала в виде треугольника, автор аналитически определяет условия равновесия свода обрушения.

Далее резонно утверждается, что процесс деформации горных пород при проведении подземных выработок в основном протекает в форме скольжения по поверхностям трещин, в месте зацепления которых возникают значительные напряжения. Для количественной оценки соотношения сети трещин к положению выработки в пространстве Е. М. Пашкиным разработан коэффициент трещинного ослабления, который выражается отношением суммарной площади эллипсоидальных сечений, получаемых при пересечении элементарного цилиндра (диаметром 1 м) с плоскостями трещин, к его длине. Этот заслуживающий внимания проектировщиков тоннельной трассы коэффициент позволяет находить оптимальное направление подземных выработок.

В пятой главе изложены принципы прогнозирования устойчивости горных пород в подземных выработках. Под прогнозированием устойчивости автор понимает непрерывное получение, обработку и обновление информации об устойчивых и слабоустойчивых участках строящихся подземных сооружений, а также выявление

ние регулирующих факторов для конкретной геосистемы.

Кроме рассмотрения подобия между горными массивами двух конкретных объектов, Е. М. Пашкиным рассмотрены и некоторые технологические критерии подобия между разными гидротехническими тоннелями. Предлагаются следующие критерии: энергии взрыва; геометрических подобий свода, профиля и поперечного сечения выработки; трещинного ослабления; пространственного подобия. Предложенные критерии подобия действительно могут помочь в прогнозировании устойчивости строящейся выработки при переносе опыта поведения других выработок при проходке.

В шестой главе приведена методика построения аналоговых расчетных схем для определения параметров вывалов. Были получены уравнения огибающих кривых вывалов для строящихся тоннелей Нурекской и Рогунской ГЭС по фактическим материалам и по эталонным пирамидам. Графическое сравнение этих результатов показало вполне удовлетворительную сходимость. Автор выдвигает весьма интересный тезис о том, что образовавшееся после вывалов овоидальное сечение выработки представляет собой устойчивую систему с пропорцией между элементами сечения (осью овоидального сечения и проектным радиусом свода выработки), близкой к «золотому сечению». Рецензент наблюдал подобное нерукотворное оформление сечений выработок, причем создающееся с динамическими проявлениями горного давления массива на глубоком руднике у Норильско-Хараклахаского субмеридионального разлома: шатрообразную форму штреков, параллельных разлому, и «разыгрывание» круглых сечений вертикальных стволов до вытянутого овала. И пропорцию между осями овала рецензент связывал с соотношением величин действующих боковых напряжений в массиве по широте и долготе, а также вертикальных напряжений (для горизонтальных выработок), то есть тоже с природными явлениями, как и Е. М. Пашкин.

Особый интерес для рецензента представляет седьмая глава книги – об инженерно-геологических исследованиях при строительстве тоннелей значительной протяженности. После обзора примеров протяженных тоннелей автор обоснованно говорит о затруднениях для производства инженерно-геологических изысканий из-за сочетания больших глубин заложения и протяженностей тоннелей в труднодоступных местах. То, что возрастает необходимость в обобщении опыта инженерно-геологических изысканий, в том числе в разработке инженерно-геологического типологического районирования и анализе условий строительства завершённых тоннелей, автор развивает и в своих более поздних публикациях [4] применительно к строительству метрополитена в Москве. Действительно, во-первых, новейшие технологии строи-

тельства тоннелей predeterminedены возможностью прогнозировать и купировать осложнения в проходке. Во-вторых, обобщение опыта показало несоответствие подходов к инженерно-геологическим изысканиям и требований современных технологий тоннелестроения. Парадоксальным является такой факт, что при скоростях тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) до 180 м в неделю бурение разведочных скважин и их опробование займет значительно больше времени, чем проходка тоннеля. В-третьих, сооружение тоннелей значительной протяженности стимулировало развитие новых технологий их проходки и появление новых методов оценки инженерно-геологических условий для надежности технологии.

Автор выделяет три направления разработки методики изыскательских работ на трассах тоннелей: инженерно-геологическая съемка трассы; интегральная оценка основных геологических факторов; учет роли отдельных геологических факторов. Далее им приводятся конкретные примеры геологических полевых испытаний во время проходки многих протяженных транспортных тоннелей в мире. Далее им дана оценка качества инженерно-геологических изысканий. Автор знакомит с результатами исследования эффективности прогнозирования горно-геологических условий проходки по материалам строительства 93 км тоннелей в Колорадо, а именно – крупномасштабного картирования, дополненного данными припортового бурения. Эти, а также и другие приведенные на отечественном опыте результаты прогнозирования действительно показывают, что степень их достоверности весьма низкая.

Рецензент, специализирующийся на исследованиях тоннельной проходки с помощью щитовых ТПМК, согласен с автором, что в последнее время разработаны такие технологии тоннельного строительства, которые в минимальной степени зависят от сложностей геологического строения массива и от гидрогеологических условий при сохранении высоких скоростей проходки и ее безопасности. При этом скорость проходки можно считать интегральной оценкой эффективности работы щита в конкретных инженерно-геологических условиях. Для современных тоннельщиков-исследователей мы с автором солидарно подчеркнём, что для проектирования и строительства тоннелей с использованием ТПМК весьма эффективна типизация геологических условий проходки как метод установления типовых условий на основе общих инженерно-геологических особенностей разрабатываемых грунтов, получивший развитие в более поздних публикациях Е. М. Пашкина [5].

В восьмой, заключительной главе, автором книги рассмотрены некоторые принципы и методы управления природно-технической геосистемой «массив горных по-

род – выработка», учитывающие особенности массива горных пород. Приведены схемы породно-анкерных подсистем, а также методики выбора оптимальной формы сечения и ориентировки подземных выработок. Описаны примеры проходки через тектонические разрывы с тампонирующим обводненным зон и с созданием предварительного защитного свода в тектонических нарушениях. Вся данная информация вызывает несомненный интерес для специалистов (и для рецензента в том числе), планирующих развивать методы управления различными природно-техническими геосистемами и еще сказать свое слово в горной науке.

В заключение Евгений Меркурьевич Пашкин считает очевидным такой вывод, что «методическое и технологическое несовершенство разведочных работ уже не сможет в должной мере освещать состояние геологической среды на осваиваемых глубинах», что «инженеры-геологи оказались в долгу перед современными технологиями строительства тоннелей». Очевидно, что должна быть и изменена традиционная идеология инженерно-геологических изысканий по намеченным в монографии путям. С этими напутствиями автора такой своевременной, методологически верной книги нельзя не согласиться всем заинтересованным специалистам и исследователям инженерной геологии для тоннелей.

Ключевые слова

Монография, природно-техническая геосистема, структура массива горных пород, устойчивость горных пород, типизация геологических условий.

Список литературы

1. Пашкин Е. М. *Инженерно-геологические исследования при строительстве тоннелей. Группа компаний «Геореконструкция»* – СПб. 2013.
2. Мазейн С. В. *Монография Е. М. Пашкина по инженерно-геологическим изысканиям при тоннельном строительстве: реферативный обзор и комментарии // Инженерная геология.* – 2017. – № 3. – С. 52–55.
3. Pashkin, Evgeny; Mazein, Sergei. 2016. *The methods use of the heterogeneous engineering-geological conditions diagnostic during shield underground tunneling. ProcediaEngineering* 165 (2016) 308–314.
4. Пашкин Е. М. и др. *Оптимизация геологических изысканий для проектирования метрополитена в Москве // Метро и тоннели.* – 2015. – № 4. – С. 14–17.
5. Пашкин Е. М. и др. *Разработка технологической типизации инженерно-геологических условий строительства метрополитена в Москве // Метро и тоннели.* – 2015. – № 5. – С. 13–15.

Для связи с автором

Мазейн Сергей Валерьевич
maz-bubn@mail.ru

