

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ



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

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

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

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

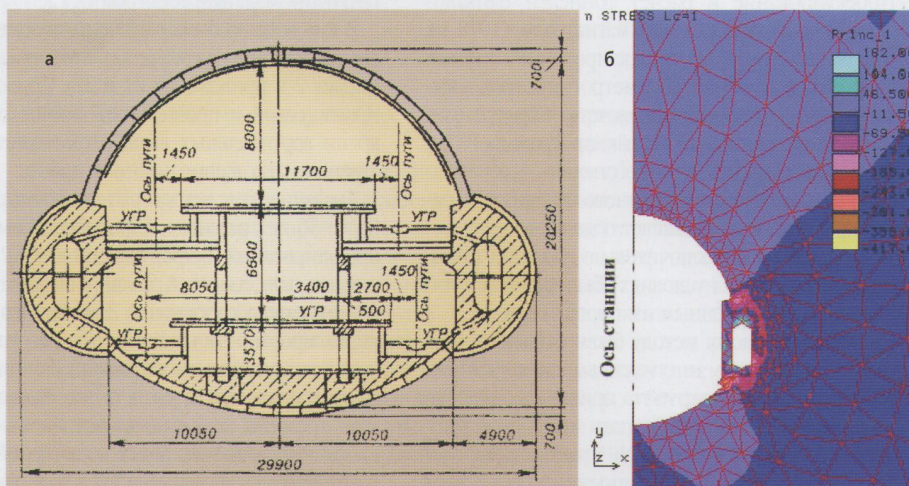


Рис. 1. Конструктивная схема станции «Спортивная» (а) и геомеханическая модель для численного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции и вмещающего грунтового массива



Рис. 2. В лаборатории математического моделирования

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

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

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

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

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

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

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

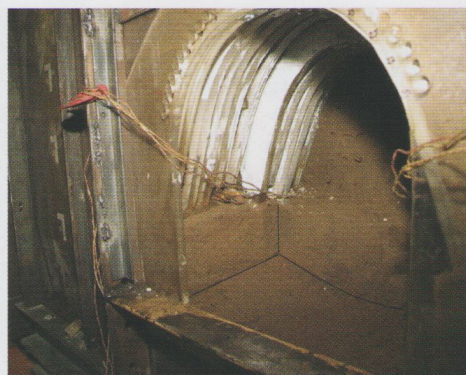


Рис. 3. В лаборатории физического моделирования

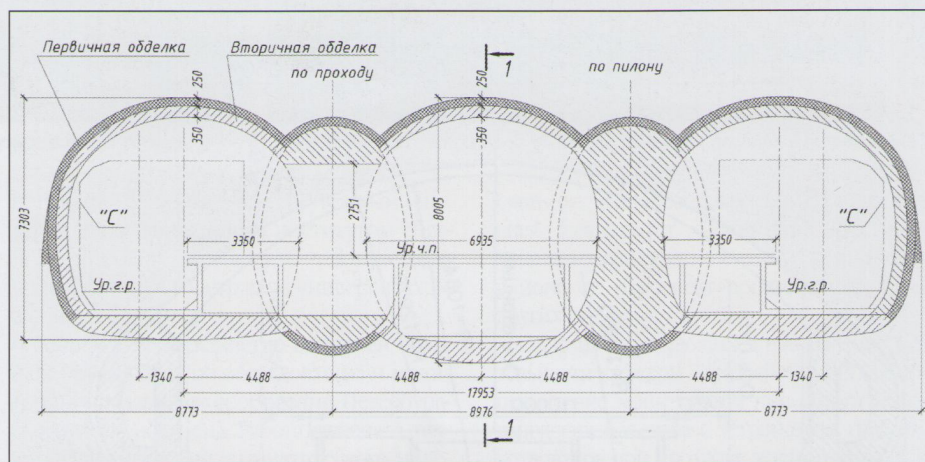
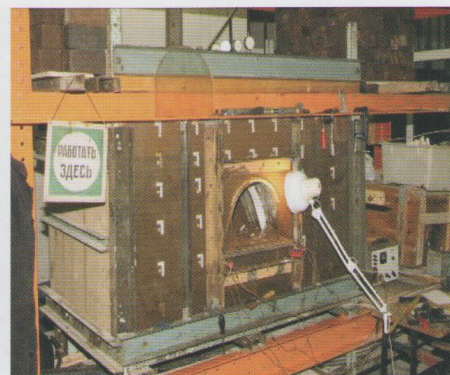


Рис. 4. Конструктивная схема пилонной станции с двухслойной обделкой: первичной – из набрызг-бетона с арматурными арками, вторичной – из монолитного железобетона

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

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

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

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

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

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

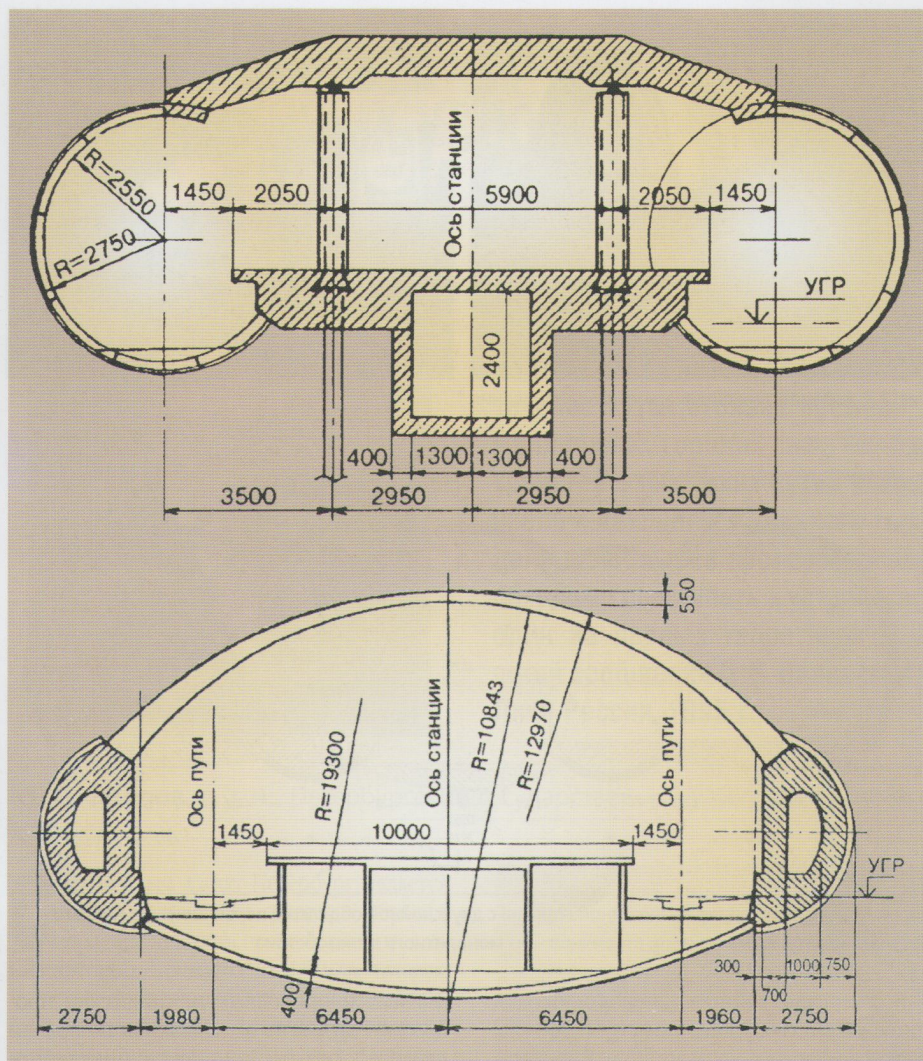


Рис. 5. Конструктивная схема колонной и одноводчатой станций на линии мелкого заложения, сооружаемой методом сквозной проходки

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

