



УДК 666.982.2

М.М. Рахимов, Р.З. Рахимов

МЕТРОСТРОЕНИЕ И НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КАЗАНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

По известным сведениям [1] в 1990 году метрополитены эксплуатировались в 99 городах 49 стран мира. К этому времени общая протяженность линий метрополитенов достигла 1700 км, а количество станций – 4300. Тенденция роста объектов строительства метрополитенов прослеживается во всех городах мира и к 2000 году предполагалось [1], что метрополитены будут сооружены не менее, чем в 150 городах. Это отражает растущую потребность современного цивилизованного общества в свободе перемещений и культуре транспортного обслуживания. Ежегодно осуществляется ввод около 160 км новых линий. Уже полтора столетия метрополитен считается высокоэффективным и экологически чистым видом общественного транспорта. Первая в мире подземная железная дорога - Лондонский метрополитен - начала функционировать в 1863 году с эксплуатацией первой линии длиной в 6,5 км, построенной за 4 года. До 1890 года транспорт поездов осуществлялся паровозами, а с 1890 года – электровозами. Название подземной железной дороги “МЕТРОПОЛИТЕН” произошло от названия строившей фирмы “Метрополитен”, что означает “Столичный”. К началу прошлого столетия метрополитен функционировал уже в 9 странах Европы и Северной Америки. В нашей стране первая линия метро в Москве была пущена 15 мая 1935 года. Эта линия имела протяженность 11,6 км и 13 станций. К этому времени в мире действовало уже 20 метрополитенов, в том числе в Токио и Буэнос-Айресе. В настоящее время к наиболее крупным метрополитенам, имевшим к 1990 году протяженность линий и число станций, относятся: Нью-Йоркский – 392,2 км, 474 станции; Лондонский – 387,9 км, 247 станций; Парижский – 294,7 км, 423 станции; Московский 261 км, 161 станция; Токийский – 197 км, 192 станции.

Известно, что строительство метрополитенов считается целесообразным в городах с численностью населения 1 млн. человек и более. Вместе с тем, в мире функционируют метрополитены в 12 городах с численностью населения менее 1 млн: 200 тыс. - в городе Руан (Франция), 400 тыс. - в г. Буффало (США), 500 тыс. - в Нюрнберге (Германия) и в Осло (Норвегия), в Хельсинки (Финляндия) и т.д. В США таких городов 5 из 13, имеющих метрополитены.

В России, кроме Московского, действуют метрополитены в городах: Петербурге - 94,4 км и 56 станций с 1955 года; Нижнем Новгороде – 15,5 км и 12 станций с 1985 года; Самаре – 8,7 км и 7 станций с 1987 года; Екатеринбурге – 8,2 км и 7 станций с 1994 года. Начато строительство метрополитенов еще в 5 городах: в 1992 году - в Челябинске; в 1993 году – в Омске и Красноярске; в 1997 году - в Казани и в 1996 году – в Уфе. В Казани пусковой комплекс первого участка первой линии метро от станции “Кремлевская” до станции “Горки” имеет протяженность 8,67 км и 7 станций: “Кремлевская”, “Площадь Г. Тукая”, “Вахитовская”, “Агрономическая”, “Героев Татарстана”, “Горки”, “Пр. Победы”. Пуск первого участка первой линии намечен к 1000-летию Казани.

Процесс сооружения метрополитенов в силу специфики подземного строительства и требований эксплуатации представляет собой одну из наиболее технически сложных и трудоемких областей современного строительного производства. В этом процессе можно выделить два этапа [1]: первый – наиболее трудоемкий и дорогостоящий, включает проходку выработок и возведение постоянной несущей конструкции – обделки; на этом этапе решается задача обеспечения надежности и долговечности сооружения; второй – предполагает устройство путей, архитектурно-отделочные работы и оснащение выработок технологическими устройствами (электротехническими, санитарно-техническими, связи и автоматики).

В комплекс сооружений при строительстве метрополитена входят: станционные, перегонные и эскалаторные тоннели, шахтные стволы, камеры различного назначения (водоотливные установки, вентиляционные, санузлы, медпункты, камеры съездов, службы пути, ДСП, тягово-понижительные станции), кабельные ходки, наземные вестибюли станций. Строительство метрополитенов осуществляется, в основном, с использованием железобетонных сборных обделок кругового очертания наружным диаметром 550, 565 и 567 мм для закрытого и прямоугольного очертания для открытого способа работ. В неустойчивых водоносных грунтах и при большом гидростатическом напоре воды и высоком горном давлении применяются обделки из чугунных тубингов. Однако постоянный дефицит и высокая стоимость чугунных тубингов делают их замену на



железобетонные все актуальнее. Из всего многообразия возможных решений - железобетонные блоки с металлоизоляцией, многослойные сборные и монолитные конструкции с промежуточной гидроизоляцией, однослойные с гидроизоляцией поверхности блоков или без нее - в Минтрансстрое предпочтение в создании конструкций обделок тоннелей отдано последнему направлению. Этот выбор обусловлен тем, что только однослойная сборная обделка может обеспечить наибольшую скорость сооружения при минимальных трудозатратах на возведение. В соответствии с отраслевой программой "Комплексная целевая программа на 1988-1990 годы и до 2000 года по достижению мирового технического уровня в транспортном строительстве", в России должны были создаваться железобетонные обделки двух типов: наружным диаметром 5,5 м (из блоков толщиной 0,2 м) и наружным диаметром 6,0 м (из блоков толщиной 0,3-0,35 м). Обделка первого типа предназначалась для обводненных грунтов при гидростатическом давлении до 0,25 м. Обделка из блоков толщиной свыше 0,2 м предназначалась для обводненных неустойчивых грунтов при гидростатическом давлении 0,3 МПа. При этом точность геометрических размеров блока и расположения закладных деталей должна была быть в пределах ± 1 мм. Строительство подземных сооружений в самых различных гидрогеологических условиях, особенно в неустойчивых и мягких породах, осуществляется в мировой и отечественной практике преимущественно и во все более увеличивающихся масштабах с помощью проходческих щитов различных типов. В литературе описывается 8 разновидностей щитовых механизированных отечественных проходческих комплексов для сооружения перегонных тоннелей метрополитена с проектной скоростью проходки от 90 до 250 км в месяц, предназначенных для работы в различных горно-геологических условиях, имеющих различные исполнительные органы: распорный, щитовой, экскаваторный, фрезерный, челюстной с рассекающими площадками. Однако отечественные проходческие щиты не позволяют вести работы по проходке перегонных тоннелей в сложных гидрогеологических условиях без применения спецметодов, что ведет к удорожанию строительства. В связи с этим, в упомянутой выше комплексной программе достижения мирового уровня в отечественном метро- и тоннелестроении поставлена одна из задач - создание щитовых механизированных комплексов (типа ЛОВАТ), обеспечивающих скорость проходки до 250 м/мес.

В России впервые успешное освоение технологии изготовления водонепроницаемой обделки и возведения тоннеля метро было реализовано в 1988-2000 годах в Москве. Водонепроницаемая обделка диаметром 6,0 м из блоков толщиной 0,35 м изготавливалась на Очаковском заводе ЖБК

Мосметростроя с использованием комплекта форм, приобретенных у германской фирмы "Вайсс унд Фрайтаг". Проходка тоннеля и монтаж обделки из этих блоков велась с использованием щитового комплекса также фирмы "Вайсс унд Фрайтаг".

Для строительства метрополитена в Казани было принято решение использовать щитовой проходческий комплекс канадской фирмы "ЛОВАТ", как наиболее современный и экономичный, и наиболее экономичную, водонепроницаемую, не требующую последующей гидроизоляции поверхности обделку из высокоточных железобетонных блоков толщиной 0,25 м разработки немецкой фирмы PSP [2]. Этот тоннелепроходческий комплекс оборудован грунтовым пригрузом забоя, позволяющим вести работы под давлением воды за щитом до 3 атмосфер. Длина комплекса - 75 м, наружный диаметр - 5,7 м. Управление комплексом осуществляется при помощи бортового компьютера, в который заносится программа сооружения перегонного тоннеля. В состав комплекса входят 2 состава, каждый из которых имеет 4 платформы для перевозки блоков обделки тоннеля, 1 растворовоз, 5 вагонеток для перевозки грунта. Объем перевозимого грунта одним поездом - до 40 м³. Состав приводится в движение дизелевозом фирмы "Шома". Его сцепной вес - 80 т, мощность двигателя - 171 л.с., скорость движения по тоннелю - до 30 км/час. Комплекс полностью механизирован и приводится в действие через систему гидронасосов и маслостанций электродвигателями, запитанными от участковых подстанций напряжением 6 КВт. Потребляемая мощность комплекса - 1,8 мегаватт. В работе тоннелепроходческого комплекса имеется два переменных технологических цикла: проходка тоннеля и монтаж обделки. Цикл проходки начинается, когда электродвигатели приводят в действие поршневые насосы гидродвигателей, которые, в свою очередь, приводят в движение ротор и цилиндры системы продвижения. При вращении ротора происходит разрушение породы в забое, а щитовые домкраты осуществляют продвижение тоннелепроходческого комплекса вперед. Разрушенная порода вначале поступает через створки ротора в камеру, а затем через створки породозагрузочного кольца в переднем щите шнековым конвейером передается на ленточный транспортер, подающий грунт в рудничные вагонетки. Тоннелепроходческий комплекс продолжает проходку до тех пор, пока его продвижение не достигнет величины, равной ширине блока кольца, и пока вся порода не будет загружена в вагоны. После этого проходка прекращается, производится монтаж тубингов на пройденном интервале и закачка тампонажного раствора за обделку. Затем процесс повторяется. В настоящей работе представлены результаты научного сопровождения разработки и освоения технологии производства блоков высокоточной водонепроницаемой обделки. Кольцо



обделки состоит из восьми блоков: замковых, двух призамковых и пяти нормальных. Кольца средней длиной 1 м (вдоль оси тоннеля) имеют конусность, равную 40 мм, что обеспечивает прохождение как прямых, так и кривых участков с радиусом 150 м. Водонепроницаемость обделки обеспечивается уплотнительными резиновыми прокладками, которые размещаются в пазах по периметру блока у его внешнего края. Пазы предварительно обрабатываются для обеспечения герметичности замазками, мастикой и клеем. Кольца обделки имеют допуски отклонений: по длине ± 5 мм, на дюбеле и выемке под блоки ± 1 мм; по длине дуги блока $+1$ и $-0,5$ мм; по радиусу блока ± 1 мм; уплотняющей канавке $-0,1$ и $-0,2$ мм. Категории качества поверхностей блоков в соответствии с ГОСТ 13015.0-83 должны быть: наружных – А3, внутренних неотделяемых – А4, внутренних отделяемых – А4, стыковых – А2. Первый блок обычно устанавливается в лотке, прибалчивается к предыдущему кольцу и придавливается щитовыми домкратами. После этого поочередно с левой и правой стороны монтируют по одному блоку, которые соединяют болтами с предыдущим кольцом и с соседними блоками, и также придавливают щитовыми домкратами. Последним монтируется замковый блок, который вдвигают в конический зазор между призамковыми блоками со стороны щита. После выхода за уплотнения заднего щита все кольцо нагружается снаружи за счет давления тампонажного раствора. Для изготовления блоков используются формы, приобретенные у фирмы “ЛОВАТ”.

Для разработки и освоения технологии производства блоков колец обделки тоннелей Казанского метрополитена, в порядке научного сопровождения решались следующие задачи:

- анализ требований к блокам колец обделки;
- анализ требований к компонентам бетона и разработка составов бетона с соответствующими физико-механическими свойствами на основе отечественного, в том числе местного сырья;
- испытания водонепроницаемости бетона;
- разработка программного обеспечения проектирования и корректировки состава бетона для блоков обделки в зависимости от свойств компонентов;
- разработка технологии изготовления блоков колец обделки;
- разработка технических требований на проектирование реконструкции двух заводов ЖБК, в связи с освоением производства на них блоков колец обделки;
- авторский надзор промышленного освоения производства блоков колец обделки на заводах ЖБК-1МС и ЖБК-2МС;
- подбор и выбор эффективности смазок для форм при производстве блоков колец обделки;
- разработка составов и методики нанесения

- шпатлевочных и грунтовочных составов для обработки пазов блоков колец обделки;
- испытания прочностных и деформационных свойств резинового уплотнения, разработанного ЗАО “КВАРТ”;
- разработка типовой карты технологического процесса производства блоков колец обделки;
- сертификация блоков колец обделки.

В соответствии с нормативной и проектной документацией: блоки должны изготавливаться из бетона класса В45 и по водонепроницаемости В10 с допускаемыми отклонениями в размерах, которые указаны выше; бетонная смесь для блоков должна включать не менее двух фракций крупного заполнителя (например, 5-10 и 10-20 мм), мелкий заполнитель с модулем крупности $M = 2...3$; предел прочности при сжатии крупного заполнителя должен быть не ниже 1200. В соответствии с этими требованиями и разрабатывался состав бетона. Разработанный нами состав бетона включает, помимо цемента, мелкого и крупного заполнителя и воды, полифункциональный модификатор из суперпластификатора и ускорителя твердения. Помимо соотношения компонентов, к составу бетона предъявляются требования к применению портландцемента бездобавочного марок 500 и 600 определенного минералогического состава трех заводов России, крупного заполнителя одного – Шершневого месторождения. В качестве мелкого заполнителя рекомендовано использовать местный песок, возможность применения которого доказана в процессе испытаний свойств бетона. Подобранный состав бетона обеспечивает получение класса бетона по прочности при сжатии не ниже В45 и по морозостойкости W12. В процессе работы по разработке составов высокопрочных бетонов разработан состав бетона и класса по прочности В60 с использованием в составе добавки минерального герметика Акватрон-6, на что подготовлена заявка на патент. Испытания водонепроницаемости бетона производились как на стандартных образцах-цилиндрах, так и на плитах, имитирующих фрагмент блока. По ходу исследований было разработано новое устройство для экспресс-способа определения морозостойкости бетона, отличающегося от известного повышенной точностью, на что был получен соответствующий патент. С целью оперативной корректировки и управления составом бетонной смеси в зависимости от изменения свойств компонентов разработана программа, которая позволяет быстро производить расчеты на компьютере.

При разработке технологии производства блоков обделки были рассмотрены семь вариантов технологических схем, предложенных АО ЦНИИС “Тоннели и метро”, Казанским филиалом корпорации “Трансстрой”, “ТипрНИИИавиапром”, ГШО ПНИУИ, “ЖБК-2МС” и КГАСА. В конечном итоге была разработана стендовая технология производства блоков



обделки. По принятой схеме формы устанавливаются на обогреваемых стендах. Все операции по изготовлению блоков – чистка и смазка формы, армирование, укладка бетона и его уплотнение, заглаживание поверхности, твердение до набора распалубочной прочности не ниже 15 МПа, распалубка производятся на одном рабочем месте на стенде. Твердение блоков до набора распалубочной прочности проходит по мягкому режиму при изотермической выдержке при температуре до 55 °С в форме под влагонепроницаемым покрывалом. Набор проектной прочности изделий осуществляется на посту созревания на обогреваемом стенде, на котором изделия, уложенные в штабель, твердеют при постоянном орошении водой, система обеспечения которого включается и выключается при помощи реле по заданному режиму. Предусмотрена технология созревания изделий, уложенных в штабеля на обогреваемом стенде, и под напольными съемными колпаками из паронепроницаемой двухслойной пленки.

Изготовление блоков обделки потребовало проведения работ и по подбору смазки для форм. Применение широко распространенных смазок на основе эмульсола, в частности, различных составов обратной эмульсии, не привело к положительным результатам. Сравнительные испытания смазок ВПС-Д, разработки ВНИИЖБ Шебекинского химического завода позволили установить эффективность применения по техническим и экономическим показателям одной из разновидностей смазок Шебекинского химического завода. В соответствии с рекомендациями проекта, для отделки пазов блоков обделки должны были применяться зарубежные составы: увлажняющая жидкость, затирочный раствор и грунтовка. С целью устранения необходимости применения этих дорогостоящих импортных составов были разработаны новые, обладающие элементами “НОУ-ХАУ” шпаклевочные и грунтовочные составы на основе отечественных сырьевых компонентов, применение которых в соответствии с разработанной технологией нанесения в процессе испытаний и производства подтвердило их эффективность. Замена рекомендованной проектом к применению уплотнительной резиновой прокладки зарубежного производства прокладкой отечественного производства потребовала разработки состава резиновой смеси и технологии изготовления прокладки Казанским ЗАО “КВАРТ”. Сравнительные испытания по прочностным и деформационным свойствам уплотнительной резины поставки “ЛОВАТ” и

производства ЗАО “КВАРТ” из 4 составов резиновой смеси позволили подобрать состав резиновой смеси и отработать технологию изготовления резиновой прокладки местного производства с более высокими показателями физико-технических свойств, чем прокладка поставки “ЛОВАТ”. В процессе исследований разработаны устройства и приспособления для испытаний прочностных и деформационных свойств, а также длительных релаксационных свойств уплотнительной прокладки в условиях, имитирующих их работу в условиях эксплуатации. Для наклейки резинового уплотнения в пазы блоков подобран и клей, который применяется взамен рекомендованного проектом зарубежного клея.

Для реализации принятой технологии производства было подготовлено техническое задание на разработку проектов и разработаны проекты технологии производства и соответствующей реконструкции заводов ЖБК-1МС и ЖБК-2МС с созданием дробильно-сортировочного узла и реконструкцией цехов и складов, на базе которых и были созданы технологические линии по производству блоков обделки. На основе отработки технологических переделов в процессе освоения промышленного производства разработана типовая технологическая карта, которая включает все требования, связанные с изготовлением блоков обделки, и которая служит нормативным и регламентирующим документом для работников заводов по их производству.

Сертификационные испытания бетонных образцов в КГАСА, блоков обделки в АО ЦНИИС НИЦ “Тоннели и метрополитены”, кольца в сборе в ВНИИ “Транспортного строительства” подтвердили эффективность работ по научному сопровождению создания производства высокоточной водонепроницаемой обделки, что позволило получить заводам сертификаты на продукцию: “Блоки сборной железобетонной обделки диаметром 5,6/5,1 перегонных тоннелей метрополитена”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров О.Н., Меркин В.Е. Транспортные тоннели и метрополитены. Техника и технология строительства. Состояние и перспективы. М.: ТИМР, 1996. - 172 с.
2. Техническое описание сборного кольца обделки метро. Казань. Ф. Грюбель. PSP, Мюнхен: 1998. - 32с.
3. Изделия сборные железобетонные для сооружения метрополитена. Технические условия. ТУ 5865-001-00043920-96. М.: Корпорация “Трансстрой”, МОО “Тоннельная ассоциация”. - 27 с.