

Директор Филиала АО ЦНИИС  
НИЦ «Тоннели и метрополитены»  
К.т.н. Щекудов Е.В.

**«Перспектива и актуальные проблемы строительства транспортных тоннелей и метрополитенов в России»**  
(по материалам Круглого стола)

*22 марта 2018 г. в конференц-зале ОАО «Мосметрострой» на Цветном бульваре, 17 прошел Круглый стол «Перспектива и актуальные проблемы строительства транспортных тоннелей и метрополитенов в России». Заседание Круглого стола организовано Тоннельной ассоциацией России и Филиалом АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены» и на нем было заслушано 11 сообщений. С приветственным словом к участникам заседания от имени организаторов мероприятия обратился директор Филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены» к.т.н. Е.В. Щекудов, который пожелал всем присутствующим интересной и плодотворной дискуссии по вопросам развития метро- и тоннелестроения в России. Им же подготовлена настоящая статья для журнала «Метро и тоннели», в которой дан обзор докладов, которые были представлены участникам заседания Круглого стола.*



Стремительное увеличение грузо- и пассажироперевозок является отличительной особенностью развития современной экономики, что, соответственно, диктует необходимость ускоренного развития транспортной инфраструктуры во всех странах мира и, естественно, в России и ее городах. Учитывая тему нашего Круглого стола, которая, в основном, связана со строительством метрополитенов, приведу несколько цифр по перспективным потребностям развития этого вида транспорта в городах нашей страны:

- в городе Москва с 2012 года реализуется масштабная программа развития Московского метрополитена, направленная на увеличение протяженности линий более, чем на 155 км и сооружение 75 станций. Планами предусматривалось: на конец 2017 года иметь в эксплуатации 222 станции метрополитена, на конец 2018 года – 236 станций, на конец 2019 года – 253 станции, на конец 2020 года – 257 станций;

- в городе Санкт-Петербург к 2020 году планируется увеличить протяжённость линий метро до 139,4 км и ввести в эксплуатацию 13 новых станций и 2 электродепо;
- в городе Новосибирск до 2030 года запроектировано строительство 73 км линий метро;
- в городе Екатеринбург в настоящее время действует 1 ветка метрополитена протяжённостью 13 километров с 9 станциями. Разработана программа развития метрополитена на период до 2020 года;
- в городе Казань проектируется 2-я линия метро с 22 станциями. По расчётам эта ветка полностью будет построена к 2030-2050 годам;
- в городе Челябинск строительство метро было остановлено в 2010 году. Построена «в черне» 1 станция «Комсомольская площадь» и наклонный ход (эскалаторный тоннель) станции «Торговый центр», но городскими планами предусматривается решение финансовых вопросов и возобновление строительства метрополитена;
- в городе Омск строительство метрополитена «заморожено» с 2012 года;
- в городе Красноярск строительство метро включено в стратегию развития до 2030 года;
- в городе Уфа первая подземная линия метро мелкого заложения должна иметь в длину 15,1 км и 11 станций, но строительство метро не начато;
- имеются планы строительства скоростного трамвая или метрополитена мелкого заложения в городе Ростов-на-Дону.

При этом следует отметить, что реализация планов развития метрополитенов в настоящее время ведется, в основном, в городах Москва и Санкт-Петербург. В остальных городах сооружение метрополитенов сдерживается отсутствием источников финансирования.

Учитывая, что технологии, которые будут представлены сегодня в докладах, могут применяться и при сооружении автодорожных и железнодорожных тоннелей, назову несколько таких проектов

- идёт строительство 2-ого Байкальского ж/д тоннеля на БАМе, параллельно первому. Длина тоннеля 6 682 м, диаметр 10 м. В марте 2018 г. завершена его проходка тоннелепроходческим комплексом «Ловат» 394;
- ожидается возобновление строительства автодорожного тоннеля в створе мостового перехода через реку Уфа;
- активно обсуждаются проекты сооружения тоннелей между островом Сахалин и континентальной частью страны и островами Сахалин и Хоккайдо (Япония).

Мировое тоннелестроение за прошедшее 20-летие продемонстрировало поистине впечатляющие темпы технического перевооружения. Широкое применение механизированных тоннелепроходческих комплексов и других эффективных видов оборудования полностью изменило многие технологические процессы, привело к появлению новых конструкций и материалов, автоматизации проектирования объектов и управления многими производственными процессами.

Анализируя нынешнее состояние и возможные пути повышения эффективности строительства транспортных тоннелей и метрополитенов, можно выделить ряд основных направлений дальнейшего развития технологий в подземном строительстве:

1. Увеличение объемов применения конвейерной транспортировки разработанной породы из забоя при проходке тоннелей механизированными тоннелепроходческими комплексами (ТПМК) вместо использования рельсового транспорта.
2. Увеличение числа проектов, предусматривающих при сооружении линий метрополитенов мелкого заложения проходку тоннелей щитовым способом, вместо открытого способа строительства.
3. Расширение объемов применения компенсационного нагнетания при проходке тоннелей под ответственными сооружениями.
4. Увеличение процента использования временных конструкций, в том числе «стены в грунте», в качестве постоянных элементов конструкции (при соответствующем обосновании их достаточной несущей способности и обеспечении требуемой долговечности).
5. Увеличение объемов применения технологии сооружения двухпутных тоннелей метрополитена глубокого заложения механизированным тоннелепроходческим комплексом со сквозной его проходкой через будущую станцию и устройством боковых посадочных платформ.
6. Массовое внедрение механизированных стволопроходческих комплексов.
7. Массовое внедрение сооружения наклонных (эскалаторных) тоннелей с использованием ТПМК.
8. Широкое использование подвижного состава на пневмоходу при строительстве горных тоннелей.
9. Обеспечение 100% механизации сооружения коротких выработок и межтоннельных сбоек.

10. Широкое внедрение АСУ строительством тоннелей и метрополитенов и автоматизированных систем мониторинга при проходке в сложных условиях.
11. Расширение применения методов геотехнического прогноза с использованием современных геотехнических расчетных комплексов.

Широкое внедрение перечисленных мероприятий, наряду с резким увеличением подготовки в ВУЗах выпуска специалистов для метро- и тоннелестроения, позволит успешно решать поставленные перед отраслью грандиозные задачи.

Теперь мне хотелось бы сделать небольшой обзор докладов и сообщений, которые были представлены на заседании Круглого стола.



Сотрудник «НИЦ Тоннельной ассоциации» Д.В. Устинов сделал сообщение на тему: **«Влияние качества инженерно-геологических изысканий на результаты расчета обделок перегонных тоннелей».**

В сообщении представлены результаты исследований достоверности расчетов обделки тоннелей из бетонных высокоточных блоков в зависимости от выбора грунтовой модели. Цель исследования – обеспечение гарантированной на стадии проектирования сохранности зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства объектов метрополитена, а также обеспечение надежности и экономичности возводимых конструкций.

В сравнительном исследовании рассматривается сборная высокоточная водонепроницаемая обделка перегонного тоннеля  $D_n/D_{вн} = 5900/5400$  мм из бетона В45. Глубина заложения шельги свода тоннеля - 19,4 м.

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Величины расхождений результатов моделирования могут достигать до 200 - 260 % по величинам изгибающих моментов. При этом по результатам расчета возможно не только снижение, но и увеличение коэффициента армирования.

2. Применение при моделировании модели упрочняющегося грунта (Hardening Soil) позволяет получить более достоверные величины дополнительных осадок дневной поверхности, изгибающих моментов и

продольных усилий в обделке перегонных тоннелей, что приводит к получению более надежной и экономически эффективной конструкции.

3. Необходимо упрощение процедуры определения расчетных характеристик вмещающего массива для модели упрочняющегося грунта Hardening Soil.



Д.т.н. Дорман И. Я. (АО «Метрогипротранс») Сделал сообщение на тему: **«Новые технические решения при строительстве Северо-Восточного участка третьего пересадочного контура».**

В сообщении отмечено следующее:

1. Северо-Восточный участок (СВУ) ТПК между станциями «Стромынка» (пересадочная на ст. «Сокольники») и Нижняя Масловка» (пересадочная на ст. «Савеловская») представляет собой наиболее проблемный участок ТПК, поскольку, во-первых, трассируется в чрезвычайно сложной градостроительной обстановке и, во-вторых, включает две пересадочные станции - ст. «Ржевская» (пересадка на существующую ст. «Рижская») и ст. «Шереметьевская» (пересадка на существующую ст. «Марьино Роцца»).

2. В первоначальных проработках руководством города рассматривалось три варианта трассирования – вариант глубокого заложения, вариант мелкого заложения и даже, можно назвать его экзотическим, – часть трассы на протяжении нескольких километров со станцией в районе пересечения пр. Мира – расположить на высокой эстакаде.

3. Получив в конце 2016 г. от генерального проектировщика АО «Мосинжпроект» задание на проектирование указанного сложнейшего участка, инженеры АО «Метрогипротранс» с целью сокращения сроков строительства предложили прогрессивную технологию строительства этого участка, даже в чем-то инновационную, ранее не применявшуюся при строительстве метрополитена в Москве.

Кратко сущность предлагаемой технологии следующая.

1. На единственно свободном от капитальной застройки на этом участке линии пространстве (между Проспектом Мира, эстакадой автомобильного третьего транспортного кольца (ТТК) и железнодорожными путями Октябрьской железной дороги) размещается основная строительная площадка, **доминантой которой является круговой, диаметром 31м, глубокий**



выработки обе станции параллельно по времени, расширяя боковые перегонные тоннели в станционные, методом «пилот – тоннелей».

5. Наиболее интересным с инженерной точки зрения и, в то же время ответственным, с точки зрения обеспечения безопасности, является строительство уникального шахтного ствола и организация через этот ствол горнопроходческих работ.

6. В проекте предусмотрен геотехнический мониторинг за строительством и эксплуатацией ствола, разработана система организации проходческих работ по выдаче грунта и подаче обделки и материалов в тоннель и др.



Генеральный директор ООО «Херренкнехт тоннельсервис», Хеннинг Йоханнис, сделал сообщение на тему: **«Современный режущий инструмент – модификация в зависимости от геологических условий».**

В сообщении представлена информация о конструкции и технических параметрах режущих инструментов для тоннелепроходческих комплексов и даны рекомендации по их применению в различных геологических условиях.



В докладе к.т.н. Т.Е.Кобидзе на тему: **«Гидроизоляция подземных сооружений открытого способа работ напыляемыми материалами с двухсторонней адгезией»**, подготовленным совместно с д.т.н. В.Е. Меркиным, была представлена гидроизоляционная система для подземных сооружений открытого

способа работ с конструкциями обделок, наружная поверхность которых не имеет свободного доступа для нанесения традиционных гидроизоляционных покрытий (с применением рулонных битумно-полимерных материалов, напыляемых полимерных составов на основе битумно-полимерных

композиций, полимочевины, метилметакрилатных смол и т.п.). К числу таких проблемных конструкций относятся:

- фундаментные (лотковые) плиты;
- ограждающие стеновые конструкции, возводимые без «пазух» для обратной засыпки грунта;
- прижимные стены, возводимые при строительстве подземных сооружений по технологии «Стена в грунте», в том числе с применением метода «сверху в низ».

Разработанная система основана на использовании напыляемых гидроизоляционных полимерных составов, отличающихся способностью проявлять требуемую адгезию (не менее 0,5 МПа) не только с поверхностью «старого» бетонного основания, но и с поверхностью свежееотформованной конструкции обделок. Для отечественного тоннелестроения материалы подобного типа на основе этиленвинилацетата предлагают фирмы NORMET («TamSeal 800»), BASF («MasterSeal 345»), MINOVA («Tekflex DS-W»).

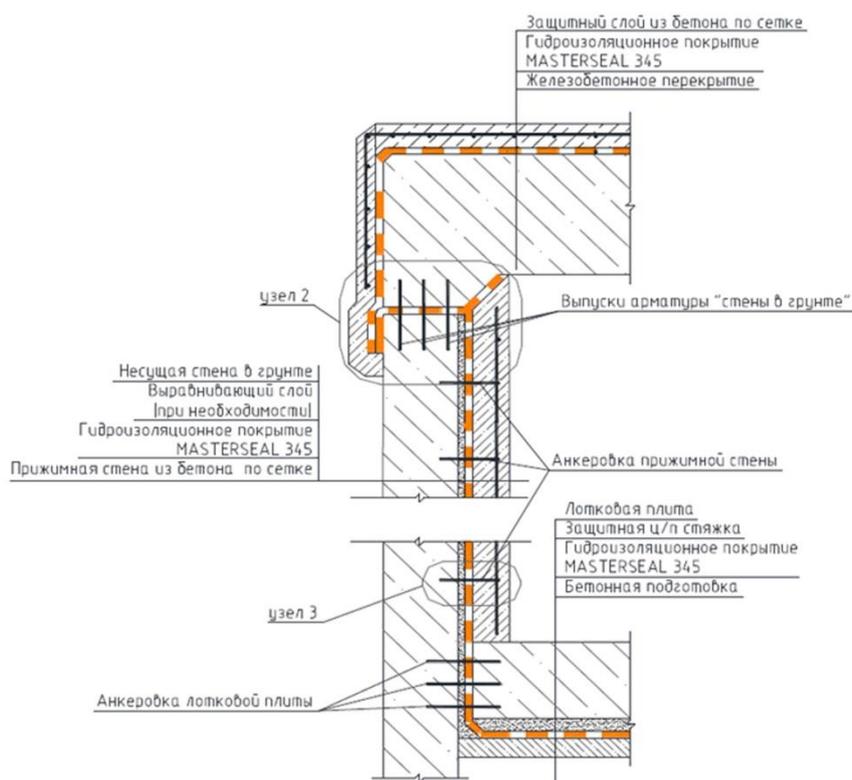


Схема устройства гидроизоляционной системы при открытом способе работ с использованием стены в грунте в качестве несущей

Указанное отличительное свойство перечисленных гидроизоляционных материалов - двухсторонняя адгезия, определило целесообразность и эффективность разработки представленных в докладе оригинальных

конструктивно - технологических решений гидроизоляционной системы, защищенных патентами РФ.

Система обеспечивает устройство надежной и ремонтпригодной гидроизоляции тоннельных обделок различного конструктивного и технологического исполнения за счет:

1. Образования на наружных поверхностях конструкций тоннельных обделок сплошного бесшовного, работающего «на прижим», адгезионного гидроизоляционного покрытия после возведения вплотную к нему прижимной или несущей стены обделки, либо конструкции лотковой плиты;

2. Способности гидроизоляционного покрытия сплошного адгезионного сцепления локализовать просочившийся грунтовые воды в пределах площади (точки) возможного повреждения. Тем самым устраняется бесконтрольная миграция воды по поверхности защищаемой конструкции, приводящая к потере ремонтпригодности гидроизоляционной системы и водонепроницаемости конструкции;

3. Устройства на несущих стеновых конструкциях, возводимых без пазух для обратной засыпки грунта, адгезионной гидроизоляции с поверхностным армирующим слоем из геотекстиля и полиэтиленовой пленки, обеспечивающие безопасное скользящее перемещение гидроизоляционного покрытия по поверхности «стены в грунте» в случае осадки подземного сооружения;

4. Возможности восстановления, при необходимости, водонепроницаемости конструкций на стадии эксплуатации сооружений, с помощью интегрированной секционной контрольно-инъекционной системы.

Представляемая система гидроизоляции прошла экспериментальную проверку в лабораторных, стендовых и производственных условиях и была рекомендована экспертной комиссией в составе представителей АО «Мосинжпроект», Дирекции строящегося метрополитена г. Москвы, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», ОАО «Моспромпроект», ОАО «Мосметрострой» к применению на Московском метрополитене.

Рекомендации по ее проектированию и применению содержатся в СТО 70386662-105-2017 «Гидроизоляция системой «MasterSeal 345» транспортных тоннелей и метрополитенов, сооружаемых открытым способом, Правила проектирования и производства работ». Документ согласован с АО «Мосинжпроект» и ДСМ ГУП «Московский метрополитен».



Представитель ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» Ларионов Р.И. сделал сообщение на тему: **«Способы сохранения зданий, являющихся памятниками архитектуры, при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге».**

В сообщении отмечено следующее:

Глубина заложения метрополитена в Санкт-Петербурге составляет 40 м и более, так как на этой глубине в центре города залегают устойчивые необводнённые грунты. Но даже при значительной глубине заложения метрополитена в процессе строительства станционных комплексов развиваются смещения земной поверхности на площади в несколько гектаров городской территории. Существующая в настоящее время технология строительства станционных узлов метрополитена и наклонных ходов приводит к значительным деформациям вышележащей толщи грунта и расположенных на ней зданий и сооружений.

Расселение аварийных зданий и их ремонт требует значительных материальных затрат и времени на восстановление зданий. Особенно нетерпимо такое положение при строительстве метро в исторической части города, когда мемориальные здания и архитектурные памятники подвергаются полному разрушению.

Уменьшить деформаций земной поверхности возможно либо путем применения определённой технологии проходки, которая обеспечивает повышение устойчивости к деформациям породного контура выработки впереди забоя, либо путем выполнения на поверхности земли комплекса мероприятий, обеспечивающих компенсацию осадки. При проектировании и строительстве Лахтинско-Правобережной и Красносельско-Калининской линии Петербургского метрополитена институтом для этого были разработаны специальные технические условия (СТУ).

В СТУ определён перечень и порядок выполнения работ по сохранности здания и сооружения, которые должны быть произведены:

- определение мульды оседания дневной поверхности в соответствии со СП 21.13330.2012;
- обследование зданий, попадающих в зону, ограниченную нулевой линией мульды, с целью определения их технического состояния;
- разработка компенсационных мероприятий с условием недопущения достижения предельной разности осадок;

- проведение геотехнического мониторинга во время строительства подземных сооружений и мероприятий, предусмотренных в проектах усиления и в составе ПОС.

Разработанный институтом комплекс мероприятий реализуется при строительстве станции «Театральная» и «Путиловская» Петербургского метрополитена в зону влияния которых попали 3 здания, являющиеся памятниками архитектуры.

Комплекс мероприятий предусматривает усиление ленточных бутовых фундаментов посредством сооружения железобетонной фундаментной плиты в подвалах зданий и компенсационное нагнетания цементного раствора в скважины по периметру зданий и из подвалов. Все компенсационные мероприятия обязательно ведутся в сопровождении геотехнического мониторинга, который направлен на контроль деформаций во всей толще грунтового массива и включает в себя несколько видов работ:

- мониторинг вертикальных деформаций грунтового массива с использованием экстензометров, устанавливаемые в скважины, пробуренные по периметру зданий;
- инженерно-геофизические работы по контролю качества инъекционного упрочнения грунтов в основаниях зданий;
- геодезический контроль деформаций оголовков экстензометрических скважин;
- визуальный мониторинг зданий.



Заместитель главного инженера-главный технолог ОАО «Метрострой, СПб», Ревва Алексей Николаевич, сделал сообщение на тему: **«Проблемы строительства подземных пешеходных переходов в условиях мегаполисов».**

В сообщении сделан обзор конструкций пешеходных переходов различного типа (наземные, подземные, надземные) и дано описание технологии сооружения пешеходного тоннеля прямоугольного сечения с применением механизированного тоннелепроходческого комплекса с гидропригрузом КСВП, разработанного

ОАО «Метрострой, СПб» и Скуратовским опытно-экспериментальным заводом.



К.т.н. Никоноров В.Б. сделал сообщение на тему: **«Маркшейдерское дело при строительстве метрополитенов и тоннелей различного назначения»**. Сообщение подготовлено группой специалистов геодезистов-маркшейдеров в составе: к.т.н. Никоноров В.Б., Семёнов Е. А.,

к.т.н. Власенко Е.П., Шерифов Н.А.

В сообщении отмечено следующее:

Главной задачей маркшейдерских работ при строительстве подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, является перенесение объекта строительства в натуру (в подземное пространство) в соответствии с проектным плановым и высотным положением, а также с соблюдением проектных геометрических параметров строящегося объекта.

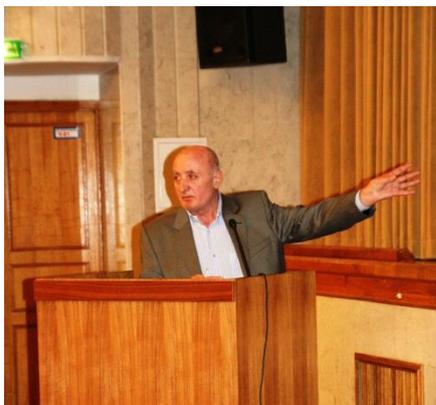
Маркшейдерские работы при строительстве тоннелей различного назначения и метрополитенов условно можно разделить на следующие этапы:

- создание геодезической разбивочной основы строительства на поверхности вдоль трассы строящегося тоннеля;
- создание маркшейдерской разбивочной основы в подземных горных выработках;
- маркшейдерское сопровождение горнопроходческих работ;
- исполнительная маркшейдерская документация для сдачи сооруженного тоннеля в эксплуатацию.

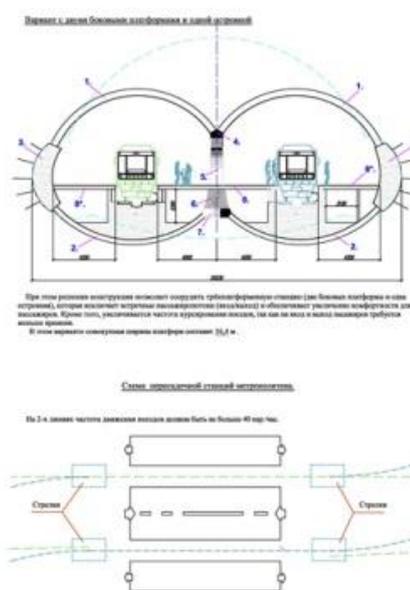
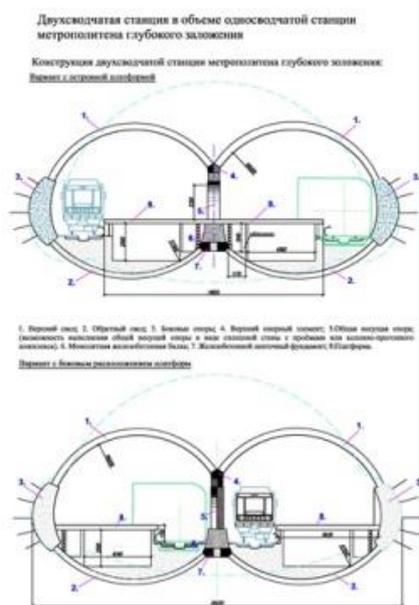
Технология производства маркшейдерских работ обусловлена технологическими особенностями производства строительных (горнопроходческих) работ, но, непременно, основным показателем качества выполненных маркшейдерских работ является обеспечение предусмотренных проектом габаритов тоннелей различного назначения и метрополитенов.

Бурное развитие технологий, применяемых в подземном строительстве, непрерывное совершенствование приборов и инструментов для выполнения маркшейдерских работ, требует ведения постоянной работы по совершенствованию нормативно-технической документации, связанной с организацией научно-технического сопровождения строительства и

проведением маркшейдерских работ. От этого во многом зависит качество строящихся подземных сооружений.



Представитель ФГБОУ ВПО ПГУПС «Петербургский государственный университет путей сообщения», Давтян Никол Григорьевич, сделал сообщение на тему: «**Двухсводчатая станция метрополитена - передовые технологии. Конструкторская мысль, экономическое обоснование**», в котором он представил конструкцию разработанной им двухсводчатой станции метрополитена.



В сообщении приведены результаты анализа технических и экономических параметров разработанной им конструкции станции в сравнении с традиционными конструкциями станций, применяемыми в настоящее время.



Генеральный директор ЗАО «Служба защиты сооружений», Баев Сергей Михайлович, сделал сообщение на тему: «**Экономическая эффективность применения технологии торкретирования бетона при изготовлении стен по**

## **буронабивным сваям при строительстве транспортных тоннелей открытым способом».**

При строительстве транспортного тоннеля № 2 на объекте «Строительство дороги Солнцево-Бутово-Видное 7 этап. Участок дороги от Киевского шоссе до Калужского шоссе» на обводненных участках поверхностей из БКС и БСС применена технология изготовления стен непрерывным торкретированием всей секции по ширине и высоте, что позволило обеспечить водонепроницаемость выравнивающей стены. Эта технология позволяет отказаться от оклеечной или напыляемой гидроизоляции внутри конструкции стен.

При выполнении этих работ в перекрытой части тоннеля длиной 170 метров и высотой 4.4 метра при изготовлении выравнивающих стен уложено 290 м<sup>3</sup> торкрет-бетона. Ежедневная производительность укладки торкрет-бетона марки В30 W10 слоем толщиной 150 мм с заглаживанием поверхности под оклеечную гидроизоляцию «Техноэластмост» достигала 25-30 м<sup>3</sup> торкрет-бетона.



Советник Генерального директора АО «Мосинжпроект», Конюхов Дмитрий Сергеевич, сделал сообщение на тему: **«Расчётно-эмпирический метод определения осадок земной поверхности при проходке тоннелей ТПМК с активным пригрузом забоя».**

В сообщении дана информация о проведенной институтом работе по выявлению эмпирических зависимостей осадки  $s$  (мм) от соотношения расстояния на горизонтальной плоскости от оси тоннеля до точки наблюдения  $L$  (по нормали к оси тоннеля) к глубине заложения оси тоннеля  $h$  для ТПМК диаметром 6 и 10 м с активным пригрузом забоя, обеспечивающие 100% сходимость с данными наблюдений на тестовых участках.

На этом Повестка дня заседания Круглого стола была исчерпана.

В заседании Круглого стола приняло участие 56 специалистов из организаций-членов ТАР и представители средств массовой информации. В целом, Круглый стол прошёл весьма успешно. Его результаты должны стимулировать развитие отрасли тоннеле- и метростроения в России.