

О научно-технической конференции ТАР «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели» (г. Екатеринбург)

С.В. Мазеин, Тоннельная ассоциация России

Д.С. Коныхов, АО «Мосинжпроект»



Участники конференции на экскурсии в Екатеринбурге (станция метро «Площадь 1905 года»)

В рамках работы Форума и выставки «100+ TechnoBuild» 7 октября 2021 года в городе Екатеринбурге состоялась международная научно-техническая Конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели», организованная Тоннельной ассоциацией России. 53 участника конференции, представлявших 25 проектных, изыскательских, научно-исследовательских, строительных и эксплуатирующих организации, заслушали 22 доклада по четырем основным тематическим направлениям: проектирование метрополитенов и эксплуатация подземной инфраструктуры в мегаполисах; применение новейших технологий материалов и конструкций при подземном строительстве; научно-техническое сопровождение и опыт подземного строительства; строительство и эксплуатация горных транспортных тоннелей.

Международная научно-техническая Конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели» состоялась 7 октября 2021 года в городе Екатеринбурге в рамках работы Форума и выставки «100+ TechnoBuild». Участники перед конференцией посетили действующие сооружения Екатеринбургского метрополитена. Экскурсию по пристанционным сооружениям станции «Площадь 1905 года» провел директор Екатеринбургского метрополитена Андрей Михайлович Панаиотиди.

Модератором Конференции выступил декан горно-технологического факультета, заведующий кафедрой «Шахтное строительство» Уральского государственного горного университета Максим Николаевич Волков.

С приветственным словом к участникам Конференции обратился Председатель правления Тоннельной ассоциации России Константин Николаевич Матвеев.



Конференцию открывают К.Н. Матвеев и М.Н. Волков

53 участника конференции, представлявших 25 проектных, изыскательских, научно-исследовательских, строительных и эксплуатирующих организации заслушали 22 доклада по четырем основным тематическим направлениям: проектирование метрополитенов и эксплуатация подземной инфраструктуры в мегаполисах, применение новейших технологий материалов и конструкций при подземном строительстве, научно-техническое сопровождение и опыт подземного строительства, строительство и эксплуатация горных транспортных тоннелей.

Первая секция **«Проектирование метрополитенов и эксплуатация подземной инфраструктуры в мегаполисах»** открылась докладом **Д.С. Конюхова** (АО «Мосинжпроект»), посвященном основным принципам комплексного освоения подземного пространства мегаполисов РФ.



*Конюхов Дмитрий Сергеевич,
АО «Мосинжпроект»*

В докладе были рассмотрены основные принципы, цели и задачи комплексного освоения подземного пространства крупных городов РФ на примере Москвы, закрепленные в Своде Правил «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования». Докладчиком был приведен обзор имеющегося опыта строительства и эксплуатации жилых районов Москвы, построенных по автономному принципу «города в городе» и рассмотрены методы обеспечения сосуществующей застройки при комплексном

Тему продолжил доклад **Е.А Клементьева** (ОАО «Уралгипротранс») «Вторая линия метрополитена в Екатеринбурге». Проектирование второй линии метрополитена в г. Екатеринбурге было начато в 2010 году для участка ст. «Металлургическая» - ст. «Площадь 1905 года» и приостановлено в феврале 2014 года в связи с отсутствием финансиро-

вания. Запланировано выполнить в 2020-2021 году обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений для строительства второй линии метрополитена на участке от ст. «Янтарная» до ст. «Каменные палатки».

О современном проектировании метрополитена в Москве и Санкт-Петербурге рассказал **Д.А. Бойцов** (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»). Им было показано, что в XXI веке развитие метрополитенов в двух крупнейших мегаполисах России способствует высоким темпам освоения подземных пространств. Изучены и опробованы новые технологии, реализованы объекты, не имеющие исторических аналогов и прототипов. Наиболее интересными, знаковыми объектами докладчиком были обозначены: траволаторный переход под р. Невой, позволяющий выходить со станции на разные острова северной столицы, а также станции, построенные к ЧМ по футболу, отличающиеся особой спецификой в плане пропускной способности и безопасности. Особый интерес представляют объекты, реализация которых проводилась с учетом сложных градостроительных условий (вестибюли ст. «Адмиралтейская» и «Спортивная» в исторической застройке Санкт-Петербурга). При этом была отмечена проблема комплексного развития подземных пространств из-за разрозненности заказчиков по смежным объектам (частные и государственные) и отсутствия синхронизации по срокам реализации и техническим возможностям.

Затем **И.А. Сиваков** (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») рассказал об опыте проектировщиков Санкт-Петербурга в применении технологий информационного моделирования при проектировании объектов метрополитена, вопросах адаптации ПО и автоматизации проектирования трассы, построения модели тяговой сети и АТДП.



Клементьев Евгений Анатольевич, ОАО «Уралгипротранс»



Бойцов Дмитрий Анатольевич, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



Сиваков Иван Анатольевич, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В докладе **В.Е. Русанова** (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации») «Влияние нового строительства на эксплуатационную надежность действующих сооружений метрополитена» проанализированы требования современных нормативно-технических документов в части безопасной эксплуатации метрополитенов. Так, по критериям несущей способности, условиям нормальной эксплуатации и долговечности основных конструкций метрополитена требования нормативных документов достаточны для оценки влияния нового строительства. В тоже время, для оценки наблюдаемых дополнительных деформаций верхнего строения пути и эскалаторных тоннелей необходимо выработать однозначное определе-

ние их предельно допустимых значений в результате возможного влияния нового строительства с учетом требований нормативных документов и Инструкций метрополитена.

Закрыв секцию **Д.Л. Бурин** (ГУП «Петербургский метрополитен») с докладом «Защита от промерзания вентиляционных стволов метрополитена с устройством конструкционно-теплоизоляционной рубашки из пеностеклобетона».

Для исключения негативного влияния отрицательных температур на техническое состояние вентиляционных стволов проводятся исследования конструктивно-технологических решений реновации вентиляционных стволов метрополитена с устройством конструкционно-теплоизоляционных рубашек из пеностеклобетона. Исследования выполняются кафедрой «Тоннели и метрополитены» совместно с кафедрой «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного университета путей сообщения (ФГБОУ ВО ПГУПС) и ГУП «Петербургский метрополитен» с 2016 года. Применение технологии защиты стволов от промерзания с устройством внутренней рубашки из пеностеклобетона может быть рекомендовано для капитального ремонта эксплуатируемых вентиляционных стволов метрополитена.



*Русанов Владимир Евгеньевич,
ООО «НИЦ Тоннельной
ассоциации»*



*Бурин Дмитрий Леонидович,
ГУП «Петербургский метрополитен»*

Вторая секция «**Применение новейших технологий материалов и конструкций при подземном строительстве**» началась с доклада **Х.П. Йоханниса** (ООО «Херренкнехт тоннельсервис») «Автоматизированное производство железобетонных блоков обделки».

Автоматизация производственного процесса на заводе ЖБИ – это работа карусельной линии без персонала, гидравлическое открытие и закрытие форм, роботизированная очистка форм. Она обеспечивает следующий экономический эффект - сокращение численности персонала карусельной линии примерно на 50%

- Круглосуточная работа+ выходные без дополнительных затрат
- Стоимость одного робота – манипулятора около 150.000 евро
- Возможность повторного использование манипулятора на других объектах, обратный выкуп по окончании проекта возможен, в будущем и аренда
- Без времени на обучение в начале проекта
- Повышение производственной безопасности
- Исключение ошибок из-за незнания языка.

Выступивший следом **А.И. Данилов** (ООО «Центр «Исследований Опасных Факторов Пожаров») рассказал о результатах экспериментальных исследований противопо-

жарной защиты несущих конструкций метрополитена, проведённых в рамках выполнения научно-исследовательских работ для Правительства г. Москвы.



Йоханнис Хеннинг Петер, ООО «Херренкнехт тоннельсервис»



*Данилов Андрей Игоревич,
ООО «Центр «Исследований
Опасных Факторов Пожаров»*

Как отметил докладчик, согласно проведенному анализу данных о произошедших пожарах за последние 10 лет в метрополитенах России, вопрос противопожарной защиты строительных конструкций метрополитена по-прежнему остается актуальным на сегодняшний день. По-прежнему сохраняется в служебных помещениях большое количество горючих материалов, составляющих пожарную нагрузку. К наиболее пожароопасным помещениям метрополитена относятся кладовые ГСМ – более 1,8 МВт/кв. м. Пиковое значение мощности пожара вагона составляет 12,3 МВт. Мощность пожара хозяйственных поездов варьируется в пределах 2,0–2,5 МВт. При указанных значениях мощности пожаров для исследованных помещений метрополитена и подвижного состава будут реализовываться стандартные температурные режимы (целлюлозного) пожаров по ГОСТ 30247.0. По результатам проведенных огневых экспериментов с чугунными тьюбингами под нагрузкой установлено, что предел огнестойкости чугунного тьюбинга без огнезащиты, испытанного под воздействием постоянной статической нагрузки равной 150 кН, составляет 54 мин. При этом, зафиксирован рост температуры на его наружной поверхности до 654 град. Цельсия к моменту нарушения целостности опытного образца. В данном случае это демонстрирует уровень критической температуры, которая может использоваться при определении фактических пределов огнестойкости чугунных обделок инженерным анализом. Также выявилась существенная особенность чугунных тьюбингов, которая заключается в том, что, прогреваясь, практически насквозь, тьюбинг часть тепла передает в грунт и тем самым повышает свой предел огнестойкости. Гипотетически этот феномен зависит от влажности заобделочного грунта и типа пород, что требует дальнейших экспериментальных исследований. Результаты огневых экспериментов несущих колон и плит показали, что несущие железобетонные конструкции метрополитенов из тяжелых бетонов без огнезащиты или без добавления полипропиленовой микрофибры, склонны к взрывообразному разрушению бетона, что ставит под сомнение возможность обоснования фактического предела огнестойкости несущих конструкций расчетным способом. При этом эксперименты подтвердили факт того, что введение полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/куб. м практически полностью исключает взрывообразное разрушение защитного слоя бетона. Но предел огнестойкости наступает по мере прогрева конструкции до арматуры. Огнезащитные покрытия повышают предел огнестойкости железобетонной конструкции

за счет увеличения времени прогрева конструкции. Однако взрывообразное разрушение бетона, все-таки проявляется, но значительно позже (на 150–120-й минутах эксперимента), что не влияет на предел огнестойкости конструкций. Эксперименты с чугунными конструкциями показали, что обделки из чугуна весьма эффективно (в сравнении со сталью) сопротивляются воздействию высоких температур за счет большой теплоемкости. Вместе с тем, предел прочности тюбинга наступает после 54-й минуты, следовательно, требуется дополнительная защита таких конструкций.

В. А. Смирнов (ООО «Динамические Системы») рассказал о результатах исследований систем виброизоляции верхнего строения пути (далее – ВСП) метрополитена, выполненных по системе «масса-пружина» (далее – СМП) за период с 2019 по 2021 год. СМП является одним из самых эффективных решений по виброизоляции ВСП и применяется на новых участках метрополитена, где пути расположены ближе 25 м от зданий. Испытания, выполненные совместно с Тоннельной ассоциацией России, Российским университетом транспорта и АО «Мосинжпроект», были проведены на различных конструкциях СМП, проходивших опытную эксплуатацию в метрополитене в 1970-ых годах, а также новое поколение таких систем, разработанных компанией «Динамические Системы» и внедряемых начиная с 2019 года. В докладе были представлены результаты натурных измерений динамических нагрузок, создаваемых подвижным составом метрополитена в зависимости от скорости его движения, а также ускорений колебаний пути и тоннельной обделки. По результатам испытаний предложены рекомендации для проектирования и дальнейшего усовершенствования указанных конструкций.

Производители строительных материалов (ООО «ПРОМЭНЕРГОРЕСУРС», ООО «НПО «Паколь», ООО «МБС Строительные системы») рассказали об особенностях и областях применения их продукции. Так, **К.В. Добровольский** посвятил свой доклад производимой ООО «ПРОМЭНЕРГОРЕСУРС» деформационно-устойчивой негорючей гидроизоляции на основе полимер-минеральных композитов. Он рассказал, что нанокompозит в смеси ГСН — многофазный твердый материал, имеющий нанометровые расстояния повторения между различными фазами, составляющими материал, в т.ч. модифицированными наноглинами. Тампонаж за обделку производится композитом ГСН-2 в растворе героторным насосом. Гидроизоляция горизонтальных защищаемых поверхностей производится со стороны водопритока по съёмным направляющим с последующей защитой из стяжки. Гидроизоляция вертикальных и наклонных поверхностей производится в несъёмную трудноразлагаемую опалубку с послойным трамбованием. Экономический эффект обеспечивается увеличением производительности труда на монтаже до 40%, снижение трудозатрат в 1,6 раз, снижение стоимости строительства в 1,4 раза. в т.ч. особо опасных и технически сложных объектов по СП 120.13330.2012 «Метрополитены».

Затем **О.В. Хохряков** доложил о производимых ООО «НПО «Паколь» сухих строительных смесях на основе цементов низкой водопотребности для выполнения инъекционных работ. Как было отмечено докладчиком, в настоящее время технология инъектирования широко распространена при ремонте и реконструкции промышленных и гражданских зданий. Этот метод наиболее удобен для заделки трещин и пустот в теле различных конструкций, укрепления оснований, заполнения узких трещин и др. Наибольшее распространение получили инъекционные составы на минеральной основе, изготавливаемые путем смешивания вяжущих и тонкодисперсных наполнителей с химическими добавками. Несмотря на это, они обладают рядом недостатков: недостаточной прочностью, для сохранения однородной консистенции требуется непрерывное перемешивание затворенной смеси, имеют слабую проникающую способность, сложностью работы при отрицательных температурах окружающей среды. По мнению докладчика, наиболее целесообразно их изготовление по технологии цементов низкой водопотребности, в которых при помолу исходных компонентов эффективнее работают добавки и существенно возрастают реологические показатели, проникающая способность и прочность затвердевшего материала.



*В. А. Смирнов,
ООО «Динамические Системы»*



*Добровольский Константин Влади-
мирович, ООО «ПРОМЭНЕРГО-
РЕСУРС»*



*Хохряков Олег Викторович,
ООО «Научно-производственное
объединение «Паколь»*



*Вязовых Роман Олегович,
ООО «МБС Строительные системы»*

Работа секции закончилась докладом **Р.О Вязовых** о применяемой ООО «МБС Строительные системы» напыляемой гидроизоляционной мембраны MasterSeal 345 при строительстве тоннелей по технологии NATM.

Третью секцию «**Научно-техническое сопровождение и опыт подземного строительства**» открыл доклад **А.Ю. Глушенко** (ООО «РусИнжект») продолживший поднятую в предыдущих докладах тему ремонта железобетонных конструкций в сложных гидрогеологических условиях и рассказавший об опыте ремонтных работ, выполненных ООО «РусИнжект» на объектах Московского метрополитена, Загорской ГАЭС и Чиркейской ГЭС.



Глушенко Александр Юрьевич, ООО «РусИнжект»

Г.Н. Протасов (ОАО «Минскметропроект») поделился с участниками конференции опытом строительства зданий над подземными сооружениями Минского метрополитена на примере концертного зала «Верхний город» и здания торгово-развлекательного центра.

Концертный зал «Верхний город» размещен в здании церкви, которое было разрушено в 1938 г. и вновь воссоздано в 2011 г. над двумя действующими тоннелями метропо-

литена. Конструктивные решения нового здания позволили обеспечить безопасность эксплуатации метрополитена, сохранить уцелевшие исторические фундаменты, обеспечив при этом виброизоляцию наземных конструкций. Над станцией метро «Вокзальная» построено здание 6-этажного торгово-развлекательного центра. Здание опирается непосредственно на станцию и, частично, на сваи. При проектировании станции были заранее учтены предполагаемые нагрузки от здания, проектирование которого к тому моменту еще не было начато. Впоследствии оптимальная компоновка здания и рациональная конструкция фундаментов позволили обеспечить давление на основание, соответствующее ранее учтенным нагрузкам.

П.С. Мильчевский рассказал о разработанной ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» системе комплексного автоматизированного геотехнического мониторинга «Монитрон», а также об интегрированных с ней системах измерения вибраций и напряженно-деформированного состояния конструкций и опыте ее применения при строительстве подземных сооружений.



*Протасов Георгий Николаевич,
ОАО «Минскметропроект»*



*Мильчевский Павел Сергеевич,
ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»*



*Островский Николай Сергеевич,
АО «Мосинжпроект»*

Н.С. Островский (АО «Мосинжпроект») рассказал об опыте проходки тоннелей метрополитена в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях, а также контроле ведения проходческих работ с помощью созданной в АО «Мосинжпроект» системы «Центральное Управление Проходки».

Тему продолжил, выступивший в on-line режиме **А.З. Тер-Мартиросян** (НИУ «МГСУ»), рассказавший об опыте математического моделирования проходки двухпутного перегонного тоннеля Некрасовской линии Московского метрополитена от станции «Стахановская улица» до станции «Нижегородская улица», проведенного с использованием программного комплекса PLAXIS. Как показали расчеты, фактический коэффициент перебора грунта для данного участка варьируется в диапазоне от 0,1 до 1,2 %, что значительно меньше нормативных значений. Поскольку фактическая осадка зданий оказалась меньше, чем расчетная, возможно уменьшить стоимость строительства тоннелей закрытым способом за счет снижения стоимости защитных мероприятий зданий и сооружений окружающей застройки, попадающих в зону влияния проходки тоннеля, без нарушения техники безопасности. При этом происходит снижение количества сооружений, попада-

ющих в расчетную зону влияния и, соответственно, снижение трат на ведение геодезического мониторинга за смещениями данных сооружений.



Участники конференции

Закрывает секцию доклад **Д.С. Колюхова**, посвященный ведению научно-технического сопровождения строительства объектов метрополитена в АО «Мосинжпроект». О разработанной в АО «Мосинжпроект» системе интерактивного управления технологическими параметрами строительства было рассказано на примере проходки двухпутного перегонного тоннеля Большой кольцевой линии Московского метрополитена под действующей станцией «Печатники». Еще одно направление научно-практической деятельности АО «Мосинжпроект» - это проведение научно-практических исследований и разработка инновационных технических решений. В 2020 году специалисты АО «Мосинжпроект», совместно с Московским государственным университетом, Горным институтом НИТУ «МИСИС», ООО «СпецГеоТрансПроект» и АО «УРСТ» принимали участие в разработке «Руководства по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы». Был выполнен большой объем исследований на натурных моделях. В частности, на строительной площадке ст. «Можайская» БКЛ впервые в РФ была создана натурная модель кольца тоннельной обделки из сборных высокоточных железобетонных блоков диаметром 6 метров. На основании систематизации дефектов заобделочного пространства, возникающих при проходке и эксплуатации тоннелей метрополитена в не скальных грунтах, были созданы модели этих дефектов, изготовлен тампонажный слой, выполнена обратная засыпка и уплотнение заобделочного пространства. На этой модели проведены исследования с применением импакт-метода, виброакустического метода и георадиолокационного профилирования. В 2021 году по заказу ФАУ ФЦС Минстроя РФ, АО «Мосинжпроект» с привлечением ведущих ВУЗов и научно-исследовательских центров России проводятся научно-исследовательские работы, направленные на обеспечение безопасности проходки тоннелей с применением ТПМК и горного способа, а также пожарной безопасности метрополитенов. Их результаты нашли отражение в перерабатываемом СП 120.13330 «Метрополитены».

Четвертая, заключительная секция конференции была посвящена **строительству и эксплуатации горных транспортных тоннелей** и открылась докладом **М.О. Лебедева** (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс») «Актуальные вопросы обеспечения несущей способности крепей и обделок при строительстве и эксплуатации горных транспортных тоннелей»



Лебедев Михаил Олегович ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Как отметил докладчик, от надежности несущих конструкций тоннелей зависит их безопасная эксплуатация в течение заданного срока. Опыт строительства и эксплуатации тоннелей показывает, что далеко не все тоннели эксплуатируются без необходимости выполнения капитальных ремонтов до окончания нормативных сроков эксплуатации. Происходит потеря несущей способности обделок по разным причинам. Выявлено, что вибродинамические нагрузки, передаваемые от транспорта на основание тоннеля, влияют на исключение временной незамкнутой крепи из работы с вмещающим массивом, представленного не только породами с выраженными реологическими свойствами, но и для полускальных пород.



*Минин Кирилл Евгеньевич,
ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»*

Тему продолжил **К.Е. Минин** (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»), рассказавший о расчёте на трещиностойкость фибробетонных обделок транспортных тоннелей, возводимых горным способом в скальных грунтах. Анализ результатов выполненных исследований позволили докладчику сделать следующие выводы:

1. Подтверждена возможность использования линейной механики разрушения для анализа распространения трещин в фибробетонных тоннельных обделках сводчатой формы.

2. На распределение напряжений в фибробетонной обделке тоннеля, сооружаемого горным способом, и следовательно, на ее трещиностойкость, может повлиять способ раскрытия сечения выработки, что требует проведения дополнительных аналогичных исследований при других способах производства работ.

Выступивший за ним **Р.А. Гусев** (ООО ТД «Гидромикс») рассказал об эффективных решениях для герметизации трубных проходок, в том числе для территорий с повышенной сейсмической активностью. Герметизация трубных проходок является важной деталью при проектировании и устройстве гидроизоляции заглубленных, или подземных конструкций зданий и сооружений, а также при проектировании и строительстве резервуаров, градирен, бассейнов и других гидротехнических сооружений. Правильное решение в этом вопросе обеспечивает надежность, долговечность и водонепроницаемость системы гидроизоляции.



Во время доклада Р.А. Гусева

Завершил секцию второй доклад **М.О. Лебедева** (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс») о тоннельных вариантах строительства транспортного перехода на остров Сахалин. Рассматривались следующие варианты сооружения транспортного перехода на Сахалин под проливом Невельского:

Вариант I. Тоннель Дн = 9,5 м и сервис-тоннель Дн = 5,5 м с щитовой проходкой.

Вариант II. Тоннель Дн = 11,5 м с щитовой проходкой.

Вариант III. Тоннель из опускных секций.

Вариант IV. Тоннельно-мостовой переход.

Вариант V. Комбинированный тоннель с обделками из опускных секций на береговых участках и кругового очертания в русловой части.

Мировой опыт тоннелестроения показывает, что длина проектируемых тоннелей является технологически реализуемой. Так, железнодорожный тоннель между островами Хонсю и Хоккайдо составляет 54км. Открытый в 1988 году Сэйкан стал самым длинным подводным железнодорожным тоннелем в мире и держит этот рекорд до сих пор. Тоннель под проливом Ла-Манш длиной 51км между Англией и Францией, из которых 39 км – под проливом Ла-Манш, свидетельствует о высоком уровне развития науки и техники тоннелестроения и о возможности реализации еще более грандиозных тоннельных проектов.

Завершая Конференцию, заместитель председателя Правления ТАР А.Б. Лебедев поблагодарил всех участников и организаторов конференции, выразив отдельную благодарность Уральскому государственному горному университету в лице декана горно-

технологического факультета, зав. кафедрой «Шахтное строительство» Уральского государственного горного университета канд. техн. наук М.Н. Волкова и вручил памятный подарок.



Александр Борисович Лебедьков, Тоннельная ассоциация России



Вручение М.Н. Волкову книги «Метро без границ»