

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений»

Организаторы Конференции: Правительство Свердловской области, Администрация г. Екатеринбурга, Тоннельная ассоциация России, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Институт горного дела УрО РАН, ОАО «Уралгипротранс», ООО «Метрострой ПТС», ЕМУП «Екатеринбургский метрополитен»

Место проведения Конференции: Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, пер. Университетский, д. 9)

Основные тематические направления Конференции:

- освоение и рациональное использование подземного пространства урбанизированных территорий;
- технология строительства и эксплуатации подземных сооружений и горных предприятий.

Участники Конференции:

Ученые и специалисты из Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Тулы, Кемерово, Перми. На Конференции были заявлены также доклады из Ростова-на-Дону, Новокузнецка, Красноярска, Новосибирска, Минска (Республика Беларусь), Донецка (Украина), и Рудного (Казахстан).

Конференцию открыл декан горно-технологического факультета Уральского государственного горного университета М.Н. Волков, который огласил приветственное письмо Министра транспорта и дорожного хозяйства Свердловской области В.В. Старкова, в котором тот отметил, что регулярно проводимые в Екатеринбурге при непосредственном участии Уральского государственного горного университета и Уральского отделения Тоннельной ассоциации России научно-практические конференции по освоению подземного пространства вносят весомый вклад в развитие теории и практики шахтного и подземного строительства в регионе и в России в целом.

С приветственным словом к участникам Конференции обратился также Первый заместитель Председателя Правления—руководитель Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России А.Б. Лебедьков.

Краткий обзор наиболее интересных докладов, озвученных на Конференции представлен ниже.

1. Освоение и рациональное использование урбанизированных территорий



Профессор Тульского государственного университета **Анциферов Сергей Владимирович** представил на Конференции два доклада. Первый — «Метод определения напряженного состояния обделок параллельных тоннелей, сооруженных вблизи склона» и второй — «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния геомеханической системы «массив грунта—обделка тоннеля—защитный экран из труб».

В первом докладе представлен разработанный аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых закрытым способом вблизи горного склона, в основу которого положены результаты математи-

ческого моделирования напряженного состояния элементов геомеханической системы «обделка комплекса параллельных тоннелей – массив грунта с наклонной поверхностью». Метод позволяет в полной мере учесть влияние угла наклона, взаимное расположение и расстояние между осями тоннелей и другие факторы на напряжения, возникающие в обделках тоннелей. С использованием программы, реализующей разработанный метод расчета, выполнено исследование напряженного состояния обделок параллельных тоннелей, сооруженных закрытым способом вблизи склона, при действии гравитационных сил. Приводятся примеры расчета.

Во втором докладе приводятся основные положения, принятые при математическом моделировании формирования напряженно-деформированного состояния массива грунта и обделок тоннелей, сооружаемых с использованием защитного экрана из труб. Предлагаемая модель позволяет с использованием математического аппарата теории комплексных потенциалов Колосова–Мускелишвили получить строгое решение соответствующей задачи теории упругости. Решение будет положено в основу разрабатываемого аналитического метода расчета обделок тоннелей, сооружаемых закрытым способом с применением опережающего укрепления массива грунта с помощью труб.

Профессор Тульского государственного университета, доктор технических наук **Андрей Сергеевич Саммал** выступил с докладами «Учет влияния укрепительной цементации пород при проектировании обделок параллельных подводных тоннелей» и «Учет влияния границы раздела слоев пород при расчете подземных сооружений».



В первом докладе предложен метод расчета обделок комплексов параллельных подводных тоннелей произвольного поперечного сечения, сооружаемых с применением укрепительной цементации окружающей выработки пород, как в предположении их полной водонепроницаемости, так и с учетом некоторой фильтрации воды внутрь тоннелей. Метод базируется на аналитических решениях ряда соответствующих плоских задач теории упругости для весомой полуплоскости, ослабленной произвольно расположенными некру-

говыми отверстиями, подкрепленными двухслойными кольцами, моделирующими зоны укрепленных пород и обделки тоннелей. Реализованный в виде компьютерного программного комплекса метод предназначен для применения в практическом многовариантном проектировании подводных тоннелей. Приводятся примеры расчета.

Во втором докладе предлагается новый аналитический метод расчета обделок подземных сооружений, сооружаемых вблизи границы раздела двух типов пород, обладающих различными деформационными характеристиками. Метод основан на соответствующем решении плоской задачи теории упругости для бесконечной весомой среды, составленной из двух слоев, выполненных из различных материалов, ослабленной вблизи границы раздела подкрепленным круговым отверстием. Полученное решение базируется на применении теории аналитических функций комплексного переменного, свойств интегралов типа Коши и комплексных рядов. На основе сравнительного анализа результатов математического моделирования в соответствии с предложенным методом и расчета с использованием программного комплекса, реализующего МКЭ, сформулированы рекомендации по формированию соответствующих компьютерных моделей.

Доцент Тульского государственного института, доктор технических наук *Деев Петр Вячеславович* выступил на Конференции с докладом «**Построение огибающих эпюр напряжений при расчете тоннелей мелкого заложения на сейсмические воздействия**».



В представленной им работе рассматривается вопрос построения огибающей эпюры по максимальным значениям сжимающих и растягивающих напряжений при расчете обделки тоннеля мелкого заложения на сейсмические воздействия землетрясений. Определено минимальное число рассматриваемых направлений распространения волн и моментов времени, позволяющее выполнить расчет обделки на сейсмические воздействия с достаточной точностью. Приводится пример расчета.

Начальник Производственно-технического отдела ГУП «Петербургский метрополитен» (г. Санкт-Петербург) *Бурин Дмитрий Леонидович* выступил на Конференции с докладом «**Актуальные проблемы эксплуатации вентиляционных стволов на линиях Петербургского метрополитена**».

Стволы вентиляционных шахт обеспечивают воздухообмен в перегонных тоннелях и на станциях метрополитена, служат для дымоудаления при пожаре, а также могут быть использованы для эвакуации пассажиров в чрезвычайных ситуациях. В условиях Санкт-Петербурга многие вентиляционные стволы в зимний период работают в режиме нагнетания свежего воздуха, что зачастую приводит к возникновению проблем, связанных с промерзанием обделки. В связи с этим, делается вывод о том, что поддержание конструкций стволов в надлежащем техническом состоянии в любое время года является важным элементом обеспечения эксплуатационной надежности сооружений метрополитена.



Сотрудник ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» *Бурака Федор Сергеевич* выступил с докладом «**Напряженно-деформированное состояние железобетонных обделок шахтных стволов, сооружаемых под защитой ограждающих конструкций в г. Санкт-Петербурге**».

За последние 15 лет в Санкт-Петербурге при проходке некоторых шахтных стволов применяется новая технология. Строительство производится в железобетонной обделке, под защитой ограждающих конструкций. В качестве ограждающих конструкций применяется «стена в грунте», различающаяся несколькими способами сооружения. При строительстве для осуществления непрерывных наблюдений за состоянием системы «массив – обделка» применяется система геотехнического мониторинга. С помощью струнных деформометров, установленных на внешнем и внутреннем контурах обделки, определяются величины нормальных и тангенциальных напряжений и производится исследование напряженно-деформированного состояния обделки. Геотехнический мониторинг позволяет своевременно разрабатывать и осуществлять мероприятия, обеспечивающие минимизацию негативного влияния горных работ на окружающую среду и, тем самым, повышает безопасность горнопроходческих работ.



Заместитель Генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогиипротранс» **Михаил Олегович Лебедев** выступил на Конференции с докладом **«Напряженно-деформированное состояние обделки транспортного тоннеля при строительстве и эксплуатации».**

При очевидных недостатках визуального осмотра внутренней поверхности обделки транспортных тоннелей для оценки ее технического состояния имеется альтернативный метод – использование контрольно-измерительной аппаратуры, размещаемой в обделках при строительстве тоннелей в составе горно-экологического мониторинга. В работе приведен при-

мер реализации горно-экологического мониторинга в части контроля напряженно-деформированного состояния обделки при строительстве железнодорожного тоннеля с последующим оснащением тоннеля автоматизированной системой геотехнического мониторинга, входящей в систему АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическими процессами). Приведены результаты контроля напряженно-деформированного состояния обделки при эксплуатации тоннеля, позволяющие выполнять прогноз технического состояния тоннеля.

2. Технология строительства и эксплуатации подземных сооружений и горных предприятий



Ученый секретарь Института горного дела Уральского отделения РАН, кандидат технических наук **Панжин Андрей Алексеевич** выступил с докладом на актуальную тему **«Деформационный мониторинг воздействия строительства метрополитена на здания и сооружения».**

При строительстве подземных выработок метрополитена периодически возникают аварийные деформации зданий. Выделены основные факторы, связанные с формированием мульды сдвижения и деформации поверхности: дренирование вышележащих пород и

непосредственное формирование выработок метрополитена. Приведены геомеханическая модель и методика расчета сдвижений земной поверхности и массива горных пород. Поскольку прогноз воздействия строительства и эксплуатации метрополитена на окружающие объекты городской инфраструктуры представляет собой сложную задачу, обозначены методики проведения инструментального мониторинга за деформациями земной поверхности, зданиями и сооружениями, находящимися в зоне влияния строительства метрополитена. Для проведения исследований использовались методы спутниковой геодезии GPS, для контроля изменений напряженно-деформированного состояния, и методы наземного лазерного сканирования для контроля геометрических элементов зданий и сооружений.



Сотрудник КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева (г. Кемерово) **Вети Ахмед Аиманович** представил участникам Конференции доклад на тему **«Обоснование параметров и разработка конструкций клиновых предохранительных полков при углубке вертикальных стволов».**

Согласно проекту реконструкции Горно-Шорского филиала ОАО «Евразруда», разработанному АО «Гипроруда» для доведения производственной мощности предприятия до 6 млн. тонн в год, ствол «Скиповой» необходимо было углубить с отметки + 115 м до от-метки – 85 м.

В связи с тем, что сроки реконструкции необходимо было сжать, сотрудниками ООО «СибГорКомплекс Инжиниринг» совместно с кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт» КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева были разработаны несколько вариантов новых конструкций клиновых предохранительных полков для углубки вертикальных стволов шахт в условиях работы эксплуатационного подъема. Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что за последние 30 лет разработкой новых конструкций предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт ни в России, ни за рубежом никто не занимался, а последние методические указания по их проектированию были разработаны и внедрены еще в 1979 году ВНИИОМШСом и в 1985 году Криворожским горнорудным институтом. В работе приведены результаты исследований воздействия динамических нагрузок на конструкцию предохранительных устройств при углубке скиповых стволов. На основе методики расчета основных элементов по силовому воздействию при аварийной разгрузке скипов, установлены зависимости, позволяющие определить величину динамического воздействия на основные конструктивные элементы предохранительных полков при полном перекрытии сечения ствола, которые могут быть использованы при обосновании параметров конструкции новых клиновых предохранительных полков.

В докладе сотрудницы ПНИПУ (г. Пермь) *Ефимовой Алины Алексеевны* на тему «**Изучение характера деформирования карналлита при объемном сжатии**» приведены результаты испытаний образцов карналлита в камере объемного сжатия. Установлены два типа диаграмм деформирования, получены зависимости влияния бокового давления на прочностные и деформационные показатели.



В докладе заместителя руководителя Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России *Мазейна Сергея Валерьевича* на тему «**Возможности мониторинга бентонитового пригруза ТБМ на строящихся участках московского метрополитена**» содержатся выборочные результаты мониторинга показателей осевого усилия на привод ротора тоннельной буровой машины. Оценена возможность определять текущее давление от грунта и компенсировать его давлением бентонита. Выявлено, что для проходки в песчаных грунтах достаточно соблюдать значение коэффициента превышения компенсации больше 1 для противодействия смещению грунтового забоя при простое щита. Отмечено, что при про-

ходке в глинистых грунтах возникает перенасыщение бентонитового раствора глинистыми частицами, снижающее качественные показатели бентонитовой корки по удерживанию забоя.

В докладе сотрудника ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург) *Балека Александра Евгеньевича* на тему «**Учет процессов современной геодинамики при строительстве и эксплуатации подземных сооружений**» на основе анализа современных модельных представлений о природном напряженно-деформированном состоянии массива горных пород дано обоснование тому выводу, что ключевым фактором формирования поля напряжений в породном массиве являются процессы современной геодинамики. При этом главным фактором выделения структурного блока, вне зависимости от его масштабного иерархического уровня, выступает способность формирующих блок структур более мелкомасштабных иерархий реагировать на внешнее силовое воздействие, как единое целое.

На данной основе усовершенствована методика поэтапного построения модели геомеханического состояния системы «подземное сооружение - вмещающий породный массив», предусматривающая задание граничных условий посредством суперпозиции напряжений и

деформаций, получаемых путем решения упругой задачи в статической постановке на трех пространственно-временных масштабных уровнях, отражающих современные геодинамические движения трех иерархий структурных элементов горного массива:

- крупномасштабных литосферных блоков (поперечные размеры в сотни - тысячи километров), определяющих напряженно-деформированное состояние региона;
- структурных блоков рудного поля (размеры порядка сотен метров), определяющих напряженно-деформированное состояние участков недропользования;
- структурных блоков приконтурного породного массива (размеры порядка нескольких дециметров), определяющих напряженно-деформированное состояние геотехнической системы «подземное сооружение - вмещающий породный массив».

В докладе ***Ефремова Евгения Юрьевича*** (ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург) «**Анализ условий завершения процесса воронкообразования на земной поверхности подземных рудников**» приведены результаты исследований по выявлению условий завершения формирования воронок обрушения. Тема исследований актуальна при осуществлении хозяйственной деятельности на земной поверхности шахтных полей подземных рудников. Условием завершения процесса воронкообразования предлагается использовать пороговый расчетный объём воронки обрушения, который связан с размерами очистного пространства коэффициентом разрыхления обрушенных пород. Показано, что при разработке рудных месторождений подземным способом коэффициент разрыхления зависит от соотношения осадочных и скальных пород в массиве над выработанным пространством.

Сотрудник УГГУ (г. Екатеринбург) Прищепин Дмитрий Вячеславович «**Исследование устойчивости подземных выработок на основе моделирования трещиноватых породных массивов**». Противоречивые рекомендации нормативных документов (СП, СНиП) обуславливают необходимость творческого решения задачи обеспечения устойчивости подземных горных выработок. В общем случае эта задача будет решена путем определения напряженно-деформированного состояния вмещающего породного массива и его прочностных и деформационных характеристик. Прочностные и деформационные характеристики породного массива предлагается определять на основе лабораторных испытаний горных пород и фрактального анализа трещиновой структуры. Напряженно-деформированное состояние трещиноватых породных массивов целесообразно определять путем реализации метода конечных элементов. А в качестве меры неровностей контура горной выработки обусловленных реальным производством буровзрывных работ использовать фрактальный коэффициент формы.

(Материал о Конференции подготовлен С.В. Мазеиным и А.Ю. Долгих)