

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.7
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27.09.2024 № 22

О присуждении Беликову Артему Артуровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование геомеханической модели соляных пород и её параметров для прогноза напряжённо-деформированного состояния водозащитной толщи при разработке месторождения каменных солей» по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика принята к защите 09.07.2024, протокол заседания № 15, диссертационным советом ГУ.7 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 155 адм.

Соискатель, Беликов Артем Артурович, 12 января 1996 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" по специальности 21.05.04 Горное дело.

С 01.10.2020 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре строительства горных предприятий и подземных сооружений в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, **Беляков Никита Андреевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, доцент кафедры.

Официальные оппоненты:

Ашихмин Сергей Геннадьевич – доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем, профессор кафедры;

Куранов Антон Дмитриевич – кандидат технических наук, акционерное общество "Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт горного дела и металлургии цветных металлов", директор по горному производству - технический директор.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Панкратенко Александром Никитовичем**, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Строительство подземных сооружений и горных предприятий» и **Орловым Алексеем Станиславовичем**, ассистентом той же кафедры, секретарем заседания и утвержденным **Филоновым Михаилом Рудольфовичем**, проректором по науке и инновациям, указала, что полученные **Беликовым Артемом Артуровичем** результаты дополняют и расширяют теоретические основы метода обеспечения геомеханической безопасности при подработке водозащитной толщи на основе взаимоувязанного решения задачи прогноза её напряженно-деформированного состояния и длительного деформирования соляных пород.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в том числе 2 статьи - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), 2 статьи - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем –4,68 печатных листа, в том числе 2,46 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Беликов, А. А. Метод численного моделирования реологических процессов на контуре одиночной горной выработки / Беликов А. А., Беляков Н. А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 94–108. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_94 (№ 1010 Перечня ВАК ред.

19.12.2023).

Belikov A. A. Method of numerical modeling of rheological processes on the contour of single mine working / Belikov A. A., Belyakov N. A. // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. - 2024. – No. 1. - P. 94-108. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_94 (№ 1010 Перечня ВАК ред. 19.12.2023).

Соискателем предложен метод обоснования реологической модели деформирования соляных пород и ее параметров по результатам обработки лабораторных испытаний образцов горных пород и натурных измерений конвергенции породного контура горных выработок. Выявлены несвойственные упруго-пластическим моделям искажения результатов, связанные с параметрами расчетной модели и сетки конечных элементов. Определены параметры численных моделей, обеспечивающие корректные результаты прогноза напряжённо-деформированного состояния соляного массива в окрестности одиночной горной выработки.

2. Беликов, А. А. Податливое крепление выработок, пройденных в соляных породах / Беликов А. А., Беляков Н. А. // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С 88-95. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-1-33-44 (№ 2629 Перечня ВАК ред. 19.12.2023).

Соискателем разработан метод прогноза напряжённо-деформированного состояния междукамерного целика, закреплённого податливой тросовой крепью. Проведена оценка эффективности крепи междукамерных целиков посредством численного моделирования с применением обоснованной реологической модели деформирования соляных пород продуктивной толщи, в результате которой выявлена увеличение несущей способности целика во время работы крепи и после выхода её из работы.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Беляков, Н. А. Прогноз целостности водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных руд / Н. А. Беляков, А. А. Беликов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6–2. — С. 33—46. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_33 (ВАК-МБД № 549 ред. 12.04.2022).

Соискателем разработан метод прогноза напряжённо-деформированного состояния пород, слагающих водозащитную толщину, при разработке продуктивного пласта калийно-магниевых солей. Представлен метод оценки целостности пород, слагающих водозащитную толщину на основе критерия прочности Кулона-Мора в осях главных нормальных

напряжений.

4. Беликов А. А. Методика прогноза напряженно-деформированного состояния междукammerных целиков, закрепленных податливой тросовой крепью / Беликов А. А., Беляков Н. А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 4. – С. 20–34. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_20 (ВАК-МБД № 549 ред. 12.04.2022)

Belikov, A. A. Method of predicting the stress-strain state of interchamber pillars lined with a compliant rope fastener / Belikov A. A., Belyakov N. A. // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. – 2023. – No.4 – P. 20-34. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_20 (ВАК-МБД № 549 ред. 12.04.2022).

Соискателем разработан способ податливого крепления междукammerных целиков. Проведён сравнительный анализ работы тросовой крепи при различных её параметрах, в результате которого установлены зависимости продолжительности податливого и жёсткого режима работы крепи и относительного горизонтального смещения породного контура закреплённого целика от диаметра каната податливой крепи.

Публикации в прочих изданиях:

5. Беликов, А. А. Анализ крупных аварий при подземной разработке соляных пород / А. А. Беликов // Актуальные вопросы науки и практики: сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции, Уфа, 01 ноября 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью.

Соискателем выполнен анализ одних из самых масштабных аварий при подземной разработке месторождений водорастворимых руд и приведены геомеханические условия обеспечения безопасной разработки соляных месторождений. В работе обосновывается актуальность исследований по разработке метода по обеспечению геомеханической безопасности при подработке водозащитной толщи.

6. Беликов, А. А. Прогноз целостности водозащитной толщи при использовании твердеющей закладки / А. А. Беликов // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации: Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 12 декабря 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 178-184.

Соискателем выполнен анализ влияния закладки камер продуктивного пласта на целостность водозащитной толщи, а также оценка возможности проходки камер II очереди после выполнения работ по закладке камер I очереди на основе прогноза напряженно-деформированного состояния

водозащитной толщи. Результаты получены с применением метода оценки целостности пород, слагающих водозащитную толщу на основе критерия прочности Кулона-Мора в осях главных нормальных напряжений.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

7. Патент № 2788185 С1 РФ, МПК E21D 11/15. Способ податливого крепления междукамерных целиков в соляных породах / А. А. Беликов, Н. А. Беляков; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет. – № 2022129460; заявл. 14.11.2022; опубл. 17.01.2023.

Соискателем разработан способ податливого крепления междукамерных целиков, пройденных в породах, склонных к проявлению реологических свойств, тросовой крепью. Податливая тросовая крепь устанавливается на междукамерные целики с целью увеличения их несущей способности посредством создания отпора поперечному деформированию целиков. Применение податливой тросовой крепи может быть использовано в качестве мер по обеспечению целостности водозащитной толщи.

Апробация работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

– IV Международная научно-практическая конференция «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (октябрь 2021 года, г. Санкт-Петербург), тема доклада «Прогноз целостности водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных руд»;

– Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки и практики» (ноябрь 2022 года, г. Уфа), тема доклада «Анализ крупных аварий при подземной разработке соляных пород»;

– Международная научно-практическая конференция «Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации» (декабрь 2023 года, г. Уфа), тема доклада «Прогноз целостности водозащитной толщи при использовании твердеющей закладки»;

– XXXII Международный научный симпозиум «Неделя горняка» (февраль, 2024 года, г. Москва), тема доклада «Податливое тросовое крепление между камерных целиков в соляных породах».

В диссертации **Беликова Артема Артуровича** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: директора Санкт-Петербургского филиала ООО «Научно-проектный центр Акрон инжиниринг»

И.П. Веретельника; начальника Центра гидрогеомеханики и шахтного строительства ООО «СПб-Гипрошахт» **Д.П. Мирончука**; заведующего кафедрой маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем ФГАОУ ВО «Пермский национальный политехнический университет», д.т.н., профессора **Ю.А. Кашникова**; главного инженера ООО «Геотехническое бюро», к.т.н. **А.Б. Максимова**; Начальника управления развития горных работ Кировского филиала акционерного общества «Апатит» **В.И. Шептуры**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной информации, однако отмечен ряд замечаний:

1. Параметры моделей хрупкого разрушения пород ВЗТ определялись при лабораторных испытаниях образцов пород. В автореферате не указано, учитывался ли масштабный эффект в дальнейшем, при моделировании НДС массива. (д.т.н. **Ю.А. Кашников**);

2. Уточнить, каким образом реализовано взаимодействие между характерными геологическими слоями в пределах водозащитной толщи в численной модели. (**Д.П. Мирончук**);

3. Имеет смысл расширить методику определения параметров геомеханической модели с накоплением повреждений. В соответствующем разделе 2.3 диссертации приведены итоговые значения этих параметров и их верификация на основе виртуальных испытаний образцов. (**И.П. Веретельник**);

4. В работе не описывается учет слоистости пород, слагающих междукамерные целики. Учет такой особенности в строении целиков расширит условия применения разработанной методики. (**А.Б. Максимов**);

5. Верификация параметров численной модели деформирования сильвинита имела бы большую степень обоснованности, если бы для её калибровки использовался полный профиль мульды сдвижения на земной поверхности и более длительные наблюдения за конвергенцией контура очистных выработок (**В.И. Шептура**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная концепция, в основу которой заложено представление о прогнозе двух существенно различающихся по продолжительности протекания механических процессов, определяющих геомеханическое состояние водозащитной толщи, а именно – длительного ползучего деформирования соляных пород продуктивной толщи и кратковременного динамического процесса трещинообразования в породах водозащитной толщи, на основе последовательного решения двух отдельных задач с использованием разных подходов и моделей деформирования сред, связанных посредством перенесения граничных условий;

предложен подход к прогнозу геомеханических процессов в массиве пород водозащитной толщи, который основан на последовательном применении модели длительного деформирования соляных пород продуктивной толщи для прогноза закономерностей оседаний по подошве водозащитной толщи, и модели хрупкого разрушения пород водозащитной толщи для прогнозирования кратковременных процессов трещинообразования в них;

доказана применимость вязко–упруго–пластической модели с условием пластичности Друкера–Прагера для описания длительного механического поведения соляных пород и упруго-пластической модели с накоплением повреждений – для пород водозащитной толщи;

введены параметры реологической модели массива каменной соли и сильвинита Палашерского участка ВКМКС, а также параметры упруго-пластических моделей деформирования подрабатываемых толщ, обеспечивающих хрупкий характер разрушения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны зависимости продолжительности податливого и жёсткого режима работы крепи от диаметра используемого каната податливой крепи междукамерных целиков, а также наклона поверхности, при котором формируется первичная трещина по кровле водозащитной толщи;

использован метод конечных элементов для решения задач длительного деформирования соляных пород продуктивной толщи и хрупкого трещинообразования в породах водозащитной толщи, являющийся современным эффективным методом решения широкого класса геомеханических задач, не поддающихся аналитическому решению;

изложен подход к прогнозу геомеханических процессов в массиве пород водозащитной толщи и соляных породах продуктивного пласта, который основан на последовательном применении двух моделей деформирования: модели деформирования соляного массива, учитывающей реологические особенности процесса деформации и модели деформирования пород ВЗТ,

обеспечивающей процесс хрупкого разрушения посредством образования трещин отрыва и сдвига;

раскрыта невозможность на современном уровне развития вычислительных средств явного моделирования процесса трещинообразования в масштабе водозащитной толщи, в связи с чем предложен метод косвенного моделирования этого процесса на основе упруго–пластической модели с накоплением повреждений;

изучены связи между длительными деформациями соляных пород в продуктивном пласте и процессом хрупкого трещинообразования в породах водозащитной толщи;

проведена модернизация метода определения безопасных параметров отработки продуктивной толщи соляных пород с учетом выявленных закономерностей хрупкого трещинообразования в породах водозащитной толщи.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в 2023 году в проектной деятельности ООО «СПб-Гипрошахт» для повышения качества проектирования подземных горных работ (акт о внедрении от 16.10.2023) методики построения численной модели массива горных пород в окрестности горных выработок, пройденных в породах, склонных к проявлению реологических свойств, и длительного прогноза напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности выработок;

определены перспективы использования полученных закономерностей развития процесса хрупкого трещинообразования в породах водозащитной толщи для прогноза геомеханически безопасных параметров отработки продуктивной толщи соляных пород;

созданы система практических рекомендаций по креплению междукамерных целиков податливой тросовой крепью и методы определения её геомеханически безопасных параметров;

представлены методические рекомендации по определению геомеханически безопасных параметров отработки продуктивной толщи соляных пород.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, а величины определенных параметров моделей деформирования соляных пород и пород водозащитной толщи на основании результатов лабораторных исследований с применением программного комплекса, осуществляющего расчет в рамках метода конечных элементов;

теория построена на современных представлениях о формировании напряженно-деформированного состояния горного массива в условиях калийных месторождений, с учетом данных натуральных наблюдений за смещением породного контура горных выработок, результатов численного моделирования, верифицированного на основе лабораторных данных. Она согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе существующих нормативных методов расчета безопасных параметров отработки продуктивной толщи соляных пород, который показал, что они не учитывают геомеханические процессы в подработанной водозащитной толще, поэтому для развития научных знаний связано с необходимостью изучения процессов хрупкого трещинообразования в породах водозащитной толщи;

использованы общенаучные и частно-научные методы сравнения и аналогий, анализа и синтеза, а также численные методы при моделировании геомеханических процессов;

установлено соответствие полученных результатов поставленной цели исследования и отсутствие противоречий выводов и рекомендаций соискателя положениям теоретико-методологической базы по теме диссертации;

использованы современные методы испытаний и анализа лабораторных исследований образцов соляных пород и пород водозащитной толщи; метод конечных элементов в качестве основного метода численного моделирования геомеханических процессов в горном массиве.

Личный вклад соискателя состоит в анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования, в результате которого обозначены перспективные направления исследования для повышения точности прогноза напряженно-деформированного состояния водозащитной толщи. В проведении экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния междукамерных целиков и подработанной водозащитной толщи посредством численного моделирования, в результате которых обоснованы параметры реологической модели Друкера-Прагера для соляных пород и параметры упруго-пластической модели пород водозащитной толщи. В разработке методики построения численной модели массива соляных пород с учетом реологического характера их деформирования. В разработке методики оценки целостности водозащитной толщи, основанной на численном моделировании процесса хрупкого разрушения слагающих её пород. В разработке способа податливого крепления междукамерных целиков в соляных породах.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Беликов Артем Артурович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 27.09.2024 диссертационный совет принял решение присудить **Беликову Артему Артуровичу** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по разработке метода обеспечения геомеханической безопасности при подработке водозащитной толщи на основе прогноза её напряженно-деформированного состояния, взаимоувязанного с длительными деформациями соляных пород.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Протосеня
Анатолий Григорьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Афанасьев
Павел Игоревич

27.09.2024 г.