

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.201.02
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 01.10.2025, протокол № 45

О присуждении Цаюкову Андрею Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов математического моделирования процессов деформирования соляных междокамерных целиков» по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите 23.07.2025, протокол № 42, диссертационным советом 24.1.201.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а, утвержденным приказом Минобрнауки России № 144/нк от 15 февраля 2022 г.

Соискатель Цаюков Андрей Андреевич «04» мая 1991 года рождения, в 2014 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», факультет прикладной математики и механики с присвоением квалификации (степени) – магистр-инженер по направлению «Прикладная механика». В период с 2014 по 2017 год соискатель обучался в очной аспирантуре «ГИ УрО РАН» (на сегодняшний день являющегося филиалом ПФИЦ УрО РАН) по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» (2.8.6). В настоящее время работает в лаборатории механики горных пород Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра («ГИ УрО РАН») на должности инженера.

Диссертация выполнена в лаборатории механики горных пород «ГИ УрО РАН».

Научный руководитель – **Барях Александр Абрамович**, академик РАН, доктор технических наук, профессор, руководитель научного направления «Горные науки» Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (г. Пермь).

Официальные оппоненты:

1. **Журавков Михаил Анатольевич**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь);
2. **Карасев Максим Анатольевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург).

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск). Ведущая организация дала положительный отзыв, подписанный главным научным сотрудником лаборатории горной информатики ИГД СО РАН, доктором физико-

математических наук Назаровой Ларисой Алексеевной, и.о. заведующего лабораторией механики взрыва и разрушения горных пород ИГД СО РАН, доктором физико-математических наук Шером Евгением Николаевичем, и утвержденный ученым секретарем ИГД СО РАН, кандидатом технических наук Коваленко Ксенией Андреевной.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, широкой известностью публикаций и достижений в области математического моделирования геомеханических процессов.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ.

Основные публикации:

1. Baryakh A. Elastic-viscoplastic deformation models of salt rocks / A. Baryakh, **A. Tsayukov** // *Frattura ed Integrita Strutturale*. – 2024. – Vol. 18, No. 70. – P. 191-209. – DOI 10.3221/igf-esis.70.11
2. Baryakh A. Justification of fracture criteria for salt rocks / A. Baryakh, **A. Tsayukov** // *Frattura ed Integrita Strutturale*. – 2022. – Vol. 16, No. 62. – P. 585-601. – DOI 10.3221/IGF-ESIS.62.40
3. Барях А.А. Математическое моделирование процесса деформирования и разрушения образцов соляных пород / А.А. Барях, **А.А. Цаюков**, А.В. Евсеев, И.С. Ломакин // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2021. – № 3. – С. 13-23. – DOI 10.15372/FTPRPI20210302
4. Baryakh A.A. Operational control of rib pillar stability / A.A. Baryakh, A.V. Evseev, I.S. Lomakin, **A.A. Tsayukov** // *Eurasian Mining*. – 2020. – No. 2. – P. 7-10. – DOI 10.17580/em.2020.02.02
5. Baryakh A. Mathematical modelling of fracture process of pillars / A. Baryakh, **A. Tsayukov**, A. Evseev, I. Lomakin // *ISRM International Symposium - EUROCK 2020, Trondheim, Virtual, June 2020*.
6. Baryakh A. Mathematical modelling of limit states for load bearing elements in room-and-pillar mining of saliferous rocks / A. Baryakh, S. Lobanov, I. Lomakin, **A. Tsayukov** // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses, Saint Petersburg, May 2018. Vol. 1-2.* – Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, London, UK, 2018. – P. 767-774.
7. Evseev A. Experimental and theoretical studies of undermined strata deformation during room and pillar mining / A. Evseev, V. Asanov, I. Lomakin, **A. Tsayukov** // *EUROCK 2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses, Saint Petersburg, Russia, May 2018. Vol. 2-2.* – Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, London, UK, 2018. — P. 985-990.
8. Барях А.А. Сейсмо-геомеханический прогноз состояния водозащитной толщи на калийных рудниках / А.А. Барях, И.А. Санфиров, А.К. Федосеев, А.И. Бабкин, **А.А. Цаюков** // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2017. – № 6. – С. 10-22. – DOI 10.15372/FTPRPI20170602

Публикации в журналах ВАК в полной мере отражают основные научные результаты работы соискателя. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента **Журавкова М.А.** В отзыве отмечается актуальность диссертационного исследования, степень обоснованности и достоверность научных положений и выводов, научная новизна, полученных результатов исследования, практическая значимость диссертационного исследования, соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ. Оппонент

приводит в своем отзыве следующие замечания по диссертации и автореферату:

- На мой взгляд не совсем корректное название диссертационной работы: «Разработка методов математического моделирования ...». В диссертации речь идет о «...построении математических моделей и разработке методов их численной реализации...». Разработка методов математического моделирования представляет собой более общую и более сложную задачу и не рассматривается в диссертации.
- В тексте диссертации имеются неточности и некорректности стилистического изложения и использования научно-технических терминов. Например:
 - стр. 6. «особенности продольно-поперечного деформирования соляных пород» - но более корректно говорить не о собственно породах, а о породных образованиях – образцах, целиках.
 - стр. 6. «подобрать критерии», «подобрать ... вязкопластические законы» - в диссертационных научных исследованиях использование слова «подбирать» является не совсем приемлемым.
 - стр. 21. «Для задач механики конечные элементы представляют собой упругие элементы» - это утверждение слишком ограничивает класс и тип конечных элементов, которые имеются в настоящее время в различных программных продуктах.
 - стр. 31. «построены ... зависимости поперечных перемещений от продольных ...» - описка, так как речь идет о деформациях.
 - стр. 38. «Критерий прочности Треска ... априори, не подходит для горных пород ...» - весьма спорное утверждение.
 - стр. 50. «Ограничение избытка поперечных деформаций...».
 - стр. 60. «...главное уравнение равновесия записывается в скоростной форме...».
 - стр. 90. «... достаточно часто существующие математические модели ... не обеспечивают заданный срок службы ...» - модели позволяют выполнить расчеты и моделирование.
- В диссертации весьма часто встречаются «сленговые выражения», которые в строгих научных публикациях лучше не употреблять. Например:
 - стр. 33. «... некоторые критерии разрушения/пластичности имеют плоское представление предельной поверхности...»; «... представление таких предельных поверхностей выполняется с помощью многогранной формы их записи в пространстве главных напряжений...»; «... функции Φ и Ψ теряют свою непрерывную дифференцируемость в рамках общей поверхности текучести...»;
 - стр. 39. «Многогранное представление имеет вид ...»; стр. 51. «В многогранном представлении ...»;
 - стр. 49. «Поперечные деформации кубического образца ровно как для линейного критерия Кулона-Мора...»;
 - стр. 65. «Работая в пространстве главных напряжений ...»;
 - стр. 101. «Попробуем реализовать данную модель ...»;
 - стр. 105. «т.е. процесс ползучести не запустится ...»;
 - стр. 111. «весьма интересная математическая модель ...»;
 - стр. 165. «осуществляется согласно реологическому походу...».
- Не совсем корректно и четко сформулированы выводы по главе 3.
 - Так, например, это относится к выводу первому: «Показано, что все законы вязкопластичности (Бингама, Дюво-Лионса, Пержины и Перича), совмещённые с критериями Кулона-Мора и объёмным параболическим, отражают нарастание продольной деформации соляных образцов в процессе ползучести (так все без

исключения, или только те, которые исследованы в диссертации?), в то время как релаксационные процессы способны приемлемо описать только двухпараметрические законы (Пержины и Перича) (как первая часть вывода связана со второй?»).

– в выводе втором: «...варьирование исключительно параметров вязкости (?) ... выглядит привлекательным (?) ...»

- Главы два и три перегружены теоретическим материалом по моделям, описывающим состояние твердых деформируемых тел. На мой взгляд можно было дать ссылки на соответствующие литературные источники, а больше уделить внимания именно применению моделей к описанию исследуемых геомеханических процессов.
- В диссертации не совсем корректно введено понятие предела ползучести. Автору следовало бы назвать этот параметр как-то иначе.

2. Положительный отзыв официального оппонента **Карасева М.А.** В отзыве отмечается актуальность диссертационной работы, научная новизна, полученных результатов, практическая значимость, соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ, проводится детальный обзор диссертационного исследования и сформулированных научных положений. Оппонент приводит в своем отзыве следующие замечания по диссертации и автореферату:

- В работе отмечается, что междукламерные целики деформируются преимущественно в условиях одноосного сжатия. Однако такое допущение справедливо при соответствующих соотношениях высоты целика к его поперечным размерам и не является справедливым в общем виде. Таким образом учет объемной прочности пород является важным фактором для достоверного прогнозирования несущей способности и деформирования породных целиков. В целом, представленная в работе модель деформирования соляных пород данный аспект учитывает.
- В работе значительное внимание уделяется сравнению между собой различных условий пластичности и выбранных для каждого из них функций пластического потенциала и в то же время такое сравнение выполняется только для одного вида напряженного состояния. Возникает вопрос о достаточности полноты такого сравнения, когда для конкретного напряженно-деформированного состояния породы можно подобрать такие параметры уравнений упругопластической модели с произвольным условием пластичности, при котором результаты расчета будут сопоставимыми. Следовало бы выполнить сопоставление модельного подхода с результатами лабораторных исследований при различных видах напряженного состояния.
- В работе установлено, что применение параболического условия пластичности позволяет достаточно хорошо описать деформирования соляных пород. Однако как хорошо известно, прочность соляных пород существенно варьируется в зависимости от вида напряженного состояния, который можно охарактеризовать через угол Лоде, что в представленной функции пластического течения не учтено и накладывает определенные требования к выбору параметров модели для различных видов напряженного состояния. В то же время, не представлен алгоритм выбора параметров условия пластичности и пластического потенциала для разных видов напряженного состояния, что затрудняет его практическое использование для решения прикладных задач геомеханики.
- Принятый в работе билинейный закон изотропного упрочнения не позволяет выйти на идеально пластическую стадию деформирования или реализовать разупрочнение

пород. Возникает вопрос, каким образом согласно представленной формулировки упругопластической модели оценивается достижение предельного состояния и как ограничивается максимальная величина допустимых напряжений в соляной породе.

- В работе предложен метод оценки срока службы породных целиков, который заключается в изменении показателя вязкости в представленной автором модели деформирования соляных пород в зависимости от продолжительности с момента отработки пласта. Не возражая в целом с таким подходом, необходимо остановиться на двух аспектах. Первый из них касается формулировки функции уменьшения коэффициента вязкости, который принят в форме зависимости от показателя «время», а не зависимости от достигнутой величины одного из параметра состояния модели, что в целом снижает удобство его использования для решения прикладных задач. Ко второму можно отнести, что из текста самой работы не ясно каким образом были определены фактические параметры функции уменьшения коэффициента вязкости. Требуется ли для получения данных параметров результаты натурных наблюдений за геомеханическим состоянием породных целиков или возможно их получить на основании лабораторных исследований?
- Междукламерные целики месторождений ВКМКС представлены не только соляными породами, но и переслаиванием соляных пород с тонкими прослоями глинистых материалов. В многочисленных работах было показано, что мощность глинистых прослоев оказывает существенное влияние на несущую способность целиков и их способность сопротивляться деформациям. С учетом того, что диссертация посвящена вопросам деформирования целиков, целесообразно было бы учесть данный фактор, при обосновании параметров модели деформирования соляных пород.
- В тексте диссертации встречаются не общепринятые термины, например «ассоциированный объёмный критерий прочности» и ряд других, что требует либо их пояснения или использования общепринятых терминов.
- В работе значительное внимание уделено развитию теоретических вопросов численной реализации модели деформирования среды с применением алгоритма обратного отображения при интегрировании уравнений пластического и вязкопластического течения, теоретическая часть представлена достаточно детально для каждого из вариантов модели деформирования пород. В то же время, в работе не представлен программный код реализации данной модели, что существенно бы снизило порог вхождения для специалистов, которые бы хотели реализовать результаты научных исследований рассматриваемой диссертационной работы в практике расчетов как породных целиков, так и в целом прогноза напряженно-деформированного состояния соляного породного массива при техногенном воздействии на него.

3. Положительный отзыв **ведущей организации**. В отзыве отмечается актуальность темы работы, научная новизна, достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, научные результаты и их ценность, структура и содержание работы, указаны теоретическая и практическая значимость, рекомендации по использованию результатов работы. Ведущая организация приводит следующие замечания и вопросы:

- В параграфе 4.2. (стр. 96) указано «При использовании камерной системы отработки с целиками ленточной формы напряжённое состояние подработанного массива является близким к плоскому деформированному (ПДС)». Между тем, это далеко не достаточное условие для использования ПДС, в частности, необходимо учитывать тип внешнего (по отношению к исследуемому объекту) поля напряжений, например,

вне геомеханического пространства ВКМС. В диссертации нет описания природного поля напряжений в окрестности ВКМС.

- Далее, на стр. 103, при формулировке краевых условий, сделано предположение об отсутствии горизонтальных перемещений на вертикальных границах расчетной области, т.е. принята гипотеза А.Н.Динника. Почему для рассматриваемого объекта эта гипотеза справедлива?
- В тексте встречаются стилистические неточности (например, «вследствие применения модифицированного метода» на стр. 128, 132, 149, 153 и др., «неассоциированный Кулон-Мор» на стр. 85, 148 и др.) и не общепринятые термины («предел напряжённого состояния», стр. 108)

На автореферат поступило 14 отзывов:

1. Положительный отзыв от **Кузнецова Н.Н.**, канд. техн. наук, руководителя лаборатории Инструментальных исследований состояния горных пород Арктической зоны РФ отдела геомеханики, ведущего научного сотрудника и **Аветисяна И.М.**, канд. техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории Прогноза удароопасности рудных месторождений отдела геомеханики Горного института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Кольский научный центр Российской академии наук» (**ГоИ КНЦ РАН**), г. Апатиты. В отзыве имеются следующие замечания:
 - В работе для физического моделирования разрушения целиков использованы образцы с размерами 300х300х300 мм, при этом не поясняется, почему выбраны именно такие размеры и форма образцов. Также не приведено, как эти размеры соотносятся с реальными размерами целиков и учитывался ли масштабный эффект при обработке результатов испытаний?
 - Формулировки первого и второго научных положений, на наш взгляд, являются не совсем корректными, так как сам факт разработки той или иной модели еще не является научным результатом, а должны быть представлены результаты исследований и выводы, полученные при использовании разработанных моделей.
2. Положительный отзыв от **Зубкова В.П.**, канд. техн. наук, заместителя директора по научной работе Института горного дела Севера им Н.В. Черского – обособленного подразделения ФГБУ Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (**ИГДС СО РАН**), г. Якутск. В отзыве имеется следующее замечание:
 - По результатам физического моделирования были выбраны два критерия - неассоциированный критерий Кулона-Мора и ассоциированный параболический объемный критерий. Зачем рассматривать два критерия, если, судя по графикам, они дают практически одинаковые результаты. Если они имеют разные границы применимости, то это надо было бы указать.
3. Положительный отзыв от **Жабко А.В.**, д-ра техн. наук, доцента, заведующего кафедрой Маркшейдерского дела Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «**Уральский государственный горный университет**», г. Екатеринбург. В отзыве имеются следующие замечания:
 - Встает вопрос, насколько корректно переносить результаты лабораторных исследований, выполненных на образцах, на горный массив, то есть целик (масштабный фактор, структурное ослабление и т.д.), каким образом учитывается структурная нарушенность массива, даже с учетом ее относительной незначительности в соляном массиве.

- В чем заключается новизна (отличие) построенной трехмерной упругопластической модели деформирования и разрушения (первое научное положение), если она полностью основана на уже предложенных критериях прочности (неассоциированный Кулон-Мор и А.А. Барях, Н.А. Самоделкина). Или была осуществлена адаптация (калибровка, подбор параметров) существующих моделей и доказана их состоятельность для рассматриваемых условий?
4. Положительный отзыв от **Михайлова В.О.**, д-ра физ.-мат. наук, профессора, академика РАН, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (**ИФЗ РАН**), г. **Москва**. (без замечаний).
 5. Положительный отзыв от **Шамгановой Л.С.**, д-ра техн. наук, академика НАН РК, заведующей отделом геомеханики **Институт горного дела имени Д.А. Кунаева**, г. **Алматы, Республика Казахстан**. (без замечаний).
 6. Положительный отзыв от **Анциферова А.В.**, д-ра техн. наук, профессора, научного руководителя института и **Ходырева Е.Д.**, канд. техн. наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (**ФГБНУ «РАНИМИ»**), г. **Донецк**. В отзыве имеется следующее замечание:
 - В автореферате недостаточно освещены вопросы, связанные с «жесткостью» оборудования, используемого при изучении процессов деформирования горных пород за пределом их прочности.
 7. Положительный отзыв от **Дмитриева С.В.**, канд. техн. наук, научного сотрудника лаборатории Прогноза удароопасности рудных месторождений отдела геомеханики Горного института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Кольский научный центр Российской академии наук» (**ГоИ КНЦ РАН**), г. **Апатиты**. В отзыве имеются следующие замечания:
 - По тексту автореферата встречаются немногочисленные опечатки, что не сказывается на общем восприятии самой работы.
 - В личном вкладе автора упоминается разработка программного кода, однако в тексте автореферата недостаточно раскрыто, насколько удобна и доступна практическая реализация предложенной методики для инженеров-геомехаников. Было бы полезно кратко описать интерфейс или алгоритм внедрения модели в существующие производственные процессы оценки устойчивости.
 - В работе упоминаются полученные в результате моделирования дилатансионные эффекты, проявляемые соляными породами (стр. 10). Также на рисунке 7 представлены прогнозные трещины сдвига и отрыва. Хотелось бы уточнить возможность учета имеющихся структурных нарушений в разработанных автором моделях.
 8. Положительный отзыв от **Рассказова И.Ю.**, д-ра техн. наук, академика РАН, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (**ХФИЦ ДВО РАН**), г. **Хабаровск**. В отзыве имеется следующее замечание:
 - В автореферате не представлена информация о верификации разработанной

диссертантом методики анализа безопасных условий подработки водозащитной толщи данными инструментальных измерений и наблюдений в шахтных условиях.

9. Положительный отзыв от **Саммалы А.С.**, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры механики материалов и геотехнологий, и **Деева П.В.**, д-ра техн. наук, профессора кафедры механики материалов и геотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «**Тульский государственный университет**», г. Тула. В отзыве имеются следующие замечания:
- Автору следовало сделать пояснение, почему при проведении лабораторных исследований релаксационные процессы деформирования изучались на образцах каменной соли, а ползучесть – на образцах сильвинита (рис.2).
 - Не совсем понятно о каких деформациях целиков идет речь при сравнении результатов компьютерного моделирования и натурных измерений (рис. 4, а), и каким образом получены представленные экспериментальные данные.
10. Положительный отзыв от **Трофимова В.А.**, д-ра техн. наук, главного научного сотрудника лаборатории Моделирования и геоконтроля техногенно изменяемого массива горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (**ИПКОН РАН**), г. Москва. В отзыве имеется следующее замечание:
- В качестве замечания можно принять практически полное отсутствие каких-либо рассуждений и материалов по численным расчетам.
11. Положительный отзыв от **Вознесенского А.С.**, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (**НИТУ МИСИС**), г. Москва. (без замечаний).
12. Положительный отзыв от Прушака В.Я., д-ра техн. наук, профессора, академика НАН Беларуси, технического директора ЗАО «**Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством**», г. Солигорск, Республика Беларусь. (без замечаний).
13. Положительный отзыв от **Кожоголова К.Ч.**, д-ра техн. наук, профессора, академика НАН КР, заведующего лабораторией «Моделирование геомеханических процессов» **Института машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР**, г. Бишкек, Кыргызская Республика. (без замечаний).
14. Положительный отзыв от **Гец А.К.**, канд. техн. наук, доцента, доцента кафедры горных работ **Белорусского национального технического университета**, г. Минск, Республика Беларусь. (без замечаний).

Все отзывы положительные. В них отмечена актуальность работы, ее научная значимость и практическая важность. Отмечается высокий теоретический уровень работы, привлечение современных методических подходов и обширного объема исследований. Имеющиеся в отзывах замечания связаны с оформлением автореферата работы, недостаточной подробностью описания некоторых деталей проведенных исследований. Имеющиеся вопросы носят уточняющий характер.

В отзывах на автореферат отмечено, что диссертация является завершенным

исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение. Многие замечания выражены в форме пожеланий и рекомендаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

построена математическая модель упруго-вязкопластического деформирования и разрушения соляных образцов во времени, базирующаяся на экспериментальных данных и учитывающая особенности их продольного и поперечного деформирования;

введен в вязкопластическую модель дополнительный параметр, предел ползучести, задающий размер зоны упругого деформирования и уровень напряжений, с которого активируется процесс ползучести соляных пород;

разработан метод математического описания и численной реализации реологических процессов в соляных породах, вмещающих горные выработки, основанный на модификации метода проекции напряжений;

предложен метод прогноза устойчивого состояния и остаточного срока службы междукammerных целиков, основанный на оценке скорости горизонтальной конвергенции стенок очистных камер с помощью разработанной модели деформирования и разрушения соляных пород.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована упруго-вязкопластическая модель среды, верифицированная по результатам лабораторных и натурных исследований;

изучены различные критерии пластичности и законы вязкопластического течения на предмет возможности математического описания ими процессов деформирования и разрушения соляных пород, количественно и качественно соответствующих лабораторным экспериментам и натурным наблюдениям;

разработана модификация метода проекции напряжений для вычисления эквивалентного напряжения ползучести, позволяющая адекватно описать развитие во времени продольных и поперечных деформаций междукammerных целиков и получить области нарушения, отражающие фактический характер их разрушения;

предложен закон вязкопластического течения подобный закону Перича для разработанной реологической модели соляных пород;

изложены подходы к реализации модифицированного метода проекции напряжений для критерия пластического течения Кулона-Мора и объемного параболического критерия пластичности.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждаются тем, что:

разработана и параметрически обеспечена результатами лабораторных и натурных экспериментов упруго-вязкопластическая модель, позволяющая прогнозировать процесс деформирования и разрушения междукammerных целиков во времени;

представлена методика оценки остаточного срока службы соляных междукammerных целиков, основанная на разработанной реологической модели;

показано, что полученные результаты могут быть использованы в качестве параметрического обеспечения задач по оценке и прогнозу состояния водозащитной толщи, составляющих методическую основу по защите рудников от затопления;

разработаны подробные алгоритмы численных реализаций предложенных подходов к

моделированию геомеханического состояния конструктивных элементов камерной системы разработки, которые являются базой для обоснования разработки новых инженерно-технических решений;

Достоверность результатов подтверждается тем, что:

теория построена на корректном использовании аппарата механики деформируемого твердого тела и современных численных алгоритмов для описания процессов деформирования и разрушения соляных пород;

идея базируется на применении метода конечных элементов для численного моделирования изменения напряженно-деформированного состояния соляных образцов и конструктивных элементов камерной системы разработки во времени;

использован многовариантный подход к калибровке реализованных моделей для описания результатов экспериментальных исследований и получения соответствующего параметрического обеспечения;

установлено качественное и количественное соответствие результатов математического моделирования с результатами лабораторных экспериментов и многолетних натурных наблюдений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач, анализе и обработке результатов лабораторных и натурных исследований, разработке и численной реализации математических моделей, создании программного кода, проведении многовариантных численных экспериментов, обработке и анализе полученных результатов, разработке методики практической реализации, формулировке основных выводов и научных положений.

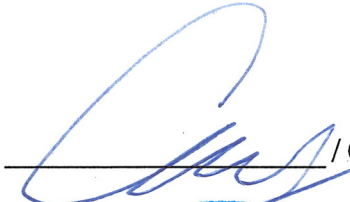
Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

На заседании 01 октября 2025 г. диссертационный совет принял решение:

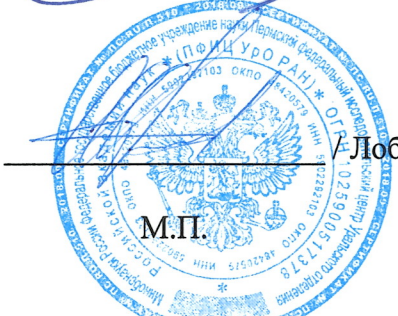
за решение научной задачи, направленной на разработку математической модели деформирования и разрушения соляных пород и методов ее численной реализации, адекватно отражающих деформационные процессы и характер разрушения вмещающих соляных пород и междукammerных целиков во времени, имеющей важное значение для обеспечения безопасности ведения горных работ, присудить Цаюкову А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.8.6, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, не проголосовало – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.1.201.02
д-р техн. наук, профессор
Санфиров Игорь Александрович

 / Санфиров И.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.201.02
канд. техн. наук
Лобанов Сергей Юрьевич

 / Лобанов С.Ю.

«03» октября 2025 г.