



НОРНИКЕЛЬ

ИНСТИТУТ
ГИПРОНИКЕЛЬ

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Румянцева Александра Евгеньевича на диссертацию Петрушина Владислава Владимировича на тему «Прогноз геомеханических процессов в окрестности породных обнажений в соляных массивах на макромасштабном уровне», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

1. Актуальность темы диссертации

В работе освещена актуальная проблема повышения достоверности прогноза напряжённо-деформированного состояния (НДС) соляных массивов при разработке полезных ископаемых и размещении подземных сооружений. Подобные исследования востребованы в связи с ростом глубины отработки соляных месторождений и необходимостью обеспечения геомеханической безопасности при эксплуатации подземных выработок, где традиционные методы конечных элементов не всегда адекватно описывают локальные концентрации напряжений и развитие хрупкого разрушения. Предложенный подход, основанный на комбинированном методе конечно-дискретных элементов (МКДЭ) с явным представлением макроструктуры пород, отвечает современным вызовам горного дела и опирается на использование теоретических обобщений, лабораторных исследований и высокопроизводительных вычислений.

Диссертационная работа посвящена повышению достоверности прогноза устойчивости породных обнажений за счет совершенствования модели деформирования соляных пород, которая достигается путём представления соляных пород в виде набора поликристаллических структур, формируемых методом тесселяции Воронова, обеспечивающих междукристаллическое взаимодействие, зарождение и рост трещин, реализация которой выполняется в рамках метода конечно-дискретных элементов.

В диссертации решаются сложные и важные задачи, а **работа является актуальной**, как в научном, так и в практическом планах.

Тема диссертации и ее содержание соответствуют паспорту научной специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика по пунктам 1, 6 и 7.

2. Общая оценка содержания работы

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 117 наименований, и 2 приложений.

ОТЗЫВ
от 24.06.21
ВХ. № 9-296
ЛУ УС
2021

Диссертация изложена на 121 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка и 4 таблицы.

Материалы разделов посвящены последовательному изучению и решению поставленных в диссертации задач, логично связаны между собой. Диссертация написана грамотным и понятным техническим языком. Содержание автореферата соответствует диссертации.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе в 1 статье - 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), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Необходимо подчеркнуть **достаточную обоснованность и достоверность результатов работы** и четко сформулированные в ней **практические рекомендации**.

В диссертации проведён всесторонний анализ современных подходов к моделированию напряжённо-деформированного состояния соляных массивов, включая как континуальные, так и дискретные методы, что позволило выявить недостаточно изученные влияния макроструктурных неоднородностей. Лабораторные испытания, проведённые автором, обеспечили получение достоверных данных о прочностных и деформационных характеристиках отдельных кристаллов соли. Численная модель, реализованная в среде Abaqus с использованием когезионных элементов и двумя законами разупрочнения (линейным и экспоненциальным), прошла верификацию на эталонных задачах и продемонстрировала хорошую сходимость с экспериментальными результатами. Проведённый параметрический анализ влияния масштаба ячеек тесселяции и ориентации главных напряжений охватил широкий диапазон значений и позволил сформулировать обоснованные рекомендации по подбору параметров модели. Разработанные методики получения и обработки результатов подкреплены подробными расчётами и экспериментами, что подтверждает высокую степень обоснованности научных положений и практическую применимость сделанных выводов в условиях реальных геологических объектов.

Все три защищаемых положения диссертации основаны на указанных выше принципах, и последовательно дополняют друг друга, обеспечивая связь исследований в единую тематику и позволяя формировать однозначные выводы и разрабатывать надежные рекомендации.

В работе намечены дальнейшие пути развития и совершенствования предложенного подхода.

4. Научная новизна и результаты диссертационной работы

В работе впервые предложен метод явного учёта макроструктуры соляных массивов, основанный на модифицированной тесселяции Вороного с функцией Вейбулла, что позволило более точно воспроизводить форму и размер кристаллитов в численных моделях. Сформировано теоретическое представление о механической модели деформирования каменной соли как поликристаллической структуры. Получены зависимости влияния макроструктуры на механические свойства.

На базе данных лабораторных исследований в среде Abaqus апробирована новая реализация МКДЭ с когезионными элементами, позволяющая сравнивать эффективность линейного и экспоненциального законов разупрочнения; результирующие расчёты показали высокую степень согласования с экспериментальными наблюдениями. Отмечено количественное влияние ориентации и величины главных напряжений на развитие макротрещин и зону хрупкого разрушения, а также предложен усовершенствованный критерий относительного показателя напряжённого состояния, учитывающий накопление повреждений, что открывает новые возможности для прогноза геомеханического риска и расширяет практический арсенал методов проектирования подземных сооружений в соляных массивах.

В целом, выполненные автором в рамках диссертационной работы исследования обладают необходимой научной новизной.

5. Практическая ценность работы

Помимо научной составляющей, работа имеет прикладное значение. Среди основных практических результатов можно выделить.

1. Предложенная методика моделирования НДС может быть интегрирована в программные комплексы при проектировании и эксплуатации подземных сооружений.
2. Обосновано формирование поликристаллической структуры каменной соли методом тесселяции Вороного с подбором параметров функции распределения Вейбулла для достоверного воспроизведения морфологии зерен.
3. Сформирован ряд рекомендаций по моделированию породных обнажений в соляных массивах методом конечно-дискретных элементов, где ожидается запредельное деформирование породного контура.
4. Предложена конечно-дискретная модель механического поведения соляных пород, учитывающая когезионные связи между зёрнами, разрушение контактов и последующее контактное взаимодействие разрушенных фрагментов. Это позволяет моделировать полный цикл разрушения: от начального трещинообразования до отрыва и перераспределения фрагментов.
5. Результаты и рекомендации диссертационной работы приняты к использованию при определении параметров крепи вертикальных стволов на различных месторождениях полезных ископаемых, добываемых подземным способом, и применены в проектной деятельности компании АО «Гипроцветмет». Акт о внедрении от 28.11.2024 г.

Замечания и вопросы по работе

1. Представленные расчёты напряженно-деформированного состояния соляных пород выполнены в двумерной постановке. В диссертации представлены возможности формирования модели и в пространственной постановке, но не представлены расчёты и проводились ли?

2. Следовало бы подробнее рассмотреть вопросы валидации предложенного в работе подхода расчёта картин повреждения породного массива в окрестности породных обнажений с данными натурных наблюдений.

3. В работе недостаточно освещена тема стохастического распределения зерен, не представлены результаты анализа шлифов (фото и прочее).

4. На странице 75 в таблице 3 верно ли указано, что модуль упругости на растяжение больше модуля упругости на сдвиг? Почему такие большие значения. Каким образом они получены.

5. При моделировании различными методами МКДЭ и МКЭ происходит сравнение результатов между ними. Следовало сравнить результаты расчётов с натурными наблюдениями за состоянием массива.

6. Установлено что размер макроструктуры 0,05% достаточна, чтобы описать процессы, происходящие в массиве. При формировании больших моделей не будет ли такая отдельность слишком большой?

7. В предложенных моделях деформирования и разрушения соляных пород не отражены вопросы учета влияния температурного воздействия и их влажности, которые, как известно, существенно влияют на механическое поведение соляных пород. Указание на ограничения применимости результатов и возможные пути расширения модели до термогидромеханической постановки позволило бы повысить универсальность разработанного подхода.

Сделанные замечания (предложения) не снижают научного и прикладного значения работы.

6. Заключение по диссертации

Диссертация «Прогноз геомеханических процессов в окрестности породных обнажений в соляных массивах на макромасштабном уровне», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 №953 адм, а ее автор – Петрушин Владислав Владимирович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент

Заведующий лабораторией геотехники ООО «Институт Гипроникель», кандидат технических наук по специальности 25.00.20.



Румянцев Александр Евгеньевич

23.06.2025

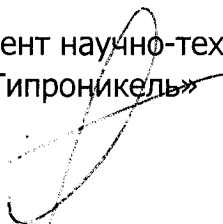
Сведения об официальном оппоненте:

ООО «Институт Гипроникель»

Почтовый адрес: 195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп.,11

эл.почта Rumyantsevae@nornik.ru телефон +7 (812)335-31-00 доб. 44-34,

Директор департамента, Департамент научно-технического развития, кандидат технических наук ООО «Институт Гипроникель»



Трофимов Андрей Викторович

