

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук Ашихмина Сергея Геннадьевича
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 условиях активного освоения глубоких горизонтов и расширения подземного пространства в соляных массивах значительно возрастает значение точного прогноза геомеханического поведения пород вблизи искусственных обнажений. Вертикальные стволы, скважины, разного рода хранилища, выработки камерной отработки – все эти инженерные объекты создаются в условиях, где природные геомеханические условия сочетаются с техногенными воздействиями, приводящими к концентрации напряжений, локальным потерям устойчивости, формированию трещиноватости и развитию зон разрушения.

Соляные породы, несмотря на видимую однородность, на макромасштабном уровне представляют собой поликристаллическую структуру, поведение которой определяется не только минералогическим составом, но и формой, размером, распределением зёрен, а также прочностными свойствами межзеренных контактов. Пренебрежение этими микроструктурными особенностями в расчётах может приводить к значительным ошибкам в оценке несущей способности массива, недооценке глубины зоны разрушения и неверному выбору параметров крепи. Указанное также относится и к другим горным породам зернистой структуры. В последнее время, особенно в связи с бурным развитием компьютерных вычислительных технологий, активно развиваются численные методы, позволяющие учитывать в явном виде микроструктурные особенности горных пород. Таким образом, диссертация Петрушина В.В посвящена актуальной и важной для практики задаче повышения надёжности геомеханических расчётов в условиях структурно-неоднородных соляных массивов с учётом их реального строения.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы Петрушина Владислава Владимировича заключается в разработке и практической реализации нового численного подхода к моделированию геомеханических процессов в соляных массивах, основанного на явном учёте их поликристаллической макроструктуры. В отличие от традиционных континуальных моделей, в которых порода рассматривается как однородная среда, в данной работе реализован конечно-дискретный метод, включающий генерацию поликристаллической структуры массива методом тесселяции Вороного, моделирование когезионных и контактных взаимодействий между отдельными зёрнами, а также разрушение связей в процессе нагружения. Такой подход позволил воспроизвести основные микромеханизмы, характерные для разрушения соли: зарождение и распространение трещин вдоль границ кристаллов, дилатантное расширение и образование замкнутых зон потери устойчивости. Новые научные результаты получены с помощью численного эксперимента, показывающего влияние геометрических характеристик зёрен (размер, угловатость, распределение и форма зёрен) на прочностные параметры модели.

Таким образом, совокупность выполненных исследований позволила автору разработать физически обоснованный, детализированный и воспроизводимый численный подход к прогнозу геомеханических процессов, отражающий влияние внутренней структуры материала на процессы разрушения. Полученные закономерности расширяют представление о поведении соли как поликристаллической среды и могут служить основой для разработки новых инженерных решений при проектировании и мониторинге подземных сооружений.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-280 от 23.06.20
АУ УС

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

Научные положения, сформулированные в диссертационной работе Петрушина Владислава Владимировича, в достаточной степени обоснованы и подтверждаются совокупностью теоретических и численных исследований, выполненных во взаимосвязанном порядке. Все этапы работы — от постановки задач и разработки методики моделирования до интерпретации результатов — проведены с использованием современных вычислительных средств, апробированных численных алгоритмов и корректных физических допущений. Выводы, представленные в каждой из глав, логически следуют из полученных данных и опираются на обширную выборку численных расчётов, охватывающих различные геометрические конфигурации зерен, масштабные параметры, виды нагружения и механические свойства как отдельных кристаллов, так и межзеренных контактов. Использование параметрического анализа с варьированием ключевых характеристик (модуль деформации, сцепление, угол внутреннего трения, энергия разрушения, форма зерна) позволило автору не только качественно, но и количественно оценить влияние структуры породы на её прочностные характеристики.

Достоверность полученных результатов подтверждается сопоставлением расчётных данных, полученных по конечно-дискретной модели, с решениями, построенными по классическим континуальным схемам. Такой сравнительный анализ позволил автору выделить преимущества предлагаемого подхода, особенно в части воспроизведения реальных механизмов разрушения – формирования асимметричных зон трещинообразования, отслоения и дилатансии, что в традиционных моделях сплошной среды вызывает существенные затруднения. Кроме того, при моделировании прикладных задач (устойчивость целика и стенок скважины) выявленные закономерности сопоставимы с известными экспериментальными наблюдениями.

Таким образом, все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными, достоверными и подтверждаются совокупностью проведённых теоретических построений, численных расчётов и корректной интерпретацией результатов.

4. Научные результаты, их ценность

В диссертационной работе получены значимые научные результаты, направленные на совершенствование методов моделирования геомеханических процессов в соляных массивах. Автором разработан оригинальный конечно-дискретный подход, в котором внутренняя структура породы моделируется на основе тесселяции Вороного с явным учётом формы, размера и распределения зерен, а также прочностных характеристик межзеренных контактов. Впервые установлены количественные зависимости между угловатостью кристаллов, масштабом модели и предельными прочностными характеристиками, а также обосновано определение репрезентативных объемов горной породы.

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.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии направлений вычислительной геомеханики, связанных с моделированием напряжённо-деформированного состояния пород с учётом их внутренней поликристаллической структуры. Автором предложен оригинальный конечно-дискретный подход, который позволяет отказаться

от допущения о сплошности материала и перейти к описанию породы как совокупности взаимодействующих зерен. Установлены количественные закономерности влияния формы, размера и угловатости зерен на прочностные характеристики массива, а также обоснован масштабный эффект, проявляющийся в зависимости результатов моделирования от размеров расчётной области и структуры.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанная методика может использоваться для прогноза устойчивости породных обнажений при строительстве и эксплуатации вертикальных стволов, камер, скважин и других подземных сооружений в соляных массивах. Разработанная методика позволяет с более высокой точностью оценивать зоны трещинообразования, дилатансии и локального разрушения, что особенно важно при обосновании параметров крепи, выборе безопасных режимов эксплуатации и определении зон повышенного риска. Полученные в работе зависимости и численные схемы могут быть внедрены в инженерные расчёты, а также использоваться при создании цифровых геомеханических моделей сложных горных массивов.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся оценкой устойчивости подземных выработок в соляных массивах, обоснованием параметров крепи и прогнозом зон разрушения. Разработанный конечно-дискретный подход может применяться в геомеханических расчётах при проектировании вертикальных стволов, камерных хранилищ, глубоких скважин и других инженерных сооружений, для уточнения зон потери устойчивости, расчёта глубины распространения трещинообразования, оценки масштабного эффекта и выбора репрезентативного объёма при построении цифровых моделей.

Кроме того, разработанные подходы и методики конечно-дискретного моделирования могут быть использованы при проектировании горных работ и инженерных сооружений в других видах горных массивов, имеющих выраженное зернистое или блочное строение.

7. Замечания и вопросы по работе

1. В работе предложен оригинальный подход к формированию поликристаллической структуры соли, однако отсутствует обсуждение чувствительности модели к задаваемым параметрам генерации структуры — например, к случайности положения зерен и вариативности их размеров.

2. При описании влияния формы зерен на прочность массива не раскрывается, какие геометрические параметры задают их степень угловатости. Четкое определение этих показателей повысило бы обоснованность и воспроизводимость результатов.

3. В главе 4 рассматривается характер деформирования ленточного целика, который моделируется как прямоугольная область с изменяемым соотношением высоты к ширине. Соляные месторождения разрабатываются, как правило, с помощью комбайновых комплексов, имеющих определенное сечение. Воспроизведение реальной геометрии камеры и целика могло бы повысить достоверность полученных результатов. Кроме того, в диссертации недостаточно акцентировано внимание на возможностях применения метода в задачах долговременной устойчивости и ползучести, что особенно важно в соляных массивах.

Приведенные выше замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

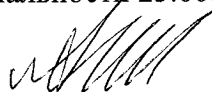
Заключение по диссертации

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

Профессор кафедры маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
доктор технических наук по специальности 25.00.20



Ашихмин Сергей Геннадьевич

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Почтовый адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Официальный сайт в сети Интернет: pstu.ru

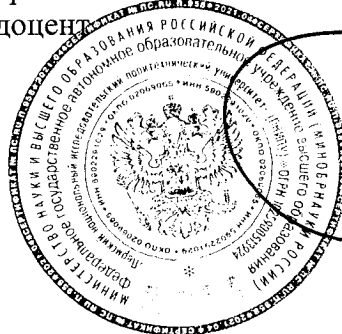
эл. почта: geotech@pstu.ru телефон: +7 (342) 219-84-24

Подпись Ашихмина С.Г. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ПНИПУ

Канд.ист.наук, доцент

16.06.2025



Макаревич Владимир Иванович