

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.096.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА
Н.В. МЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от «19» февраля 2025 г. № 2Д/25

О присуждении Дмитриеву Сергею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Развитие методики оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом контактных характеристик структурных неоднородностей» по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите «27» ноября 2024 г. (протокол заседания №13Д/24) диссертационным советом 24.1.096.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, 111020, Москва, Крюковский тупик, д.4.

Дмитриев Сергей Владимирович, дата рождения 18.07.1992, в 2014 году с отличием окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет» по специальности «Информационные системы и технологии» и получил квалификацию инженер. С 2014 по 2018 гг. прошел обучение в аспирантуре Горного института Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук». С 2020 г. по настоящее время работает в должности научного сотрудника в лаборатории прогноза удароопасности рудных месторождений (№26.2) отдела геомеханики Горного института КНЦ РАН.

Диплом об окончании аспирантуры государственного образца, включающий сведения о сдаче кандидатских экзаменов, №01-186/18 выдан 31.10.2018 Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральным исследовательским центром «Кольский научный центр Российской академии наук».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Кольский научный центр Российской

академии наук» (КНЦ РАН).

Научным руководителем по данной работе является кандидат технических наук Семенова Инна Эриковна – руководитель отдела геомеханики, ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.

Официальные оппоненты:

Сидоров Дмитрий Владимирович – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ООО «Полигор» (г. Санкт-Петербург);

Креницын Роман Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией геодинамики и горного давления, ведущий научный сотрудник института горного дела Уральского отделения Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) в своем положительном отзыве, подписанном Паньковым Иваном Леонидовичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником лаборатории физических процессов освоения георесурсов Горного института УрО РАН, и Федосеевым Антоном Кимовичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником лаборатории механики горных пород Горного института УрО РАН, указала, что диссертация обладает научной новизной и практической значимостью, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических исследований, лабораторных измерений и результатов численного моделирования определен диапазон эффективного использования объемных контактных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния массивов скальных горных пород со структурными нарушениями. Диссертация соответствует требованиям пп 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Дмитриев Сергей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Соискателем по теме диссертации опубликованы 11 печатных работ, из которых 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

В опубликованных научных работах соискателя приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований особенностей распределения напряженно-деформированного состояния массива при вариации контактной жесткости разлома, численное моделирование неоднородностей в трехмерной постановке метода

конечных элементов, выбор оптимальной модификации контактного элемента для моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом структурных неоднородностей, решение упругой задачи методом конечных элементов, анализ главных касательных напряжений и площадок сдвига в объемной модели упруго-деформируемого массива горных пород.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы (научные статьи) по теме диссертации:

1 Дмитриев С.В., Семенова И.Э. Выявление особенностей распределения напряженно-деформированного состояния массива при вариации контактной жесткости разлома // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – С. 110-115.

2 Семенова И.Э., Дмитриев С.В., Шестов А.А. Численное моделирование неоднородностей в трехмерной постановке метода конечных элементов // Горный журнал. – 2020. – № 12. – С. 35-39.

3 Дмитриев С.В. Выбор оптимальной модификации контактного элемента для моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом структурных неоднородностей // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – № 1(63). – С. 143-153.

4 Дмитриев С.В. Решение упругой задачи методом конечных элементов. Визуализация тензора напряжений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 7. – С. 222-227.

5 Аветисян И.М., Семенова И.Э., Дмитриев С.В., Шестов А.А. Анализ главных касательных напряжений и площадок сдвига в объемной модели упруго-деформируемого массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S23. – С. 258-264.

6 Дмитриев С.В., Семенова И.Э., Шестов А.А. The numerical modeling of heterogeneities by the finite element method in 3d setting // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Proceedings of the EUROCK 2021 Conference on Rock Mechanics and Rock Engineering, Turin, Italy. Vol. 833.- 2021. – P. 012094.

7 Дмитриев С.В. Evaluation of a potential shear in the vicinity of structural violations by calculation results of stress-strain state of the rock mass Evaluation of a potential shear in the vicinity of structural violations by calculation results of stress-strain state of the rock mass // EUROCK2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: SET OF 2 VOLUMES, Vol. 1-2. - 2018. – P. 1593-1596.

8 Дмитриев С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния массивов горных пород с учетом неоднородностей // Проблемы недропользования. – 2017. – № 1(12).

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов: д.т.н. Калмыков В.Н. и к.т.н. Кульсайтов Р.В., д.т.н. Зотеев О.В., д.т.н. Киряева Т.А., д.т.н. Протосеня А.Г., д.т.н. Неверов А.А., д.т.н. Аминов В.Н., д.т.н. Еременко В.А., к.т.н. Неугомонов С.С., к.т.н. Багаутдинов И.И. и д.т.н. Шабаров А.Н., д.т.н. Анциферов С.В., к.т.н. Синегубов В.Ю. и к.т.н. Вильнер М.А., к.ф.-м.н. Павлов Д.В.

В отзывах дана положительная оценка диссертационной работы, отмечается актуальность выбранной темы, новизна и профессиональный подход к решению поставленных задач.

Однако в отзывах содержатся следующие вопросы и замечания:

- д.х.н. Калмыков В.Н. и к.т.н. Кульсайтов Р.В.:

Из автореферата неясно, каковы граничные условия перехода от композитных замещающих материалов, характеризующихся сниженными прочностными (деформационными) характеристиками к контактными характеристикам на границе блоков?

Применим ли предложенный метод внедрения контактных элементов при моделировании НДС массива на других месторождениях, кроме исследуемого Хибинского? Например, на месторождениях Урала, где прочностные свойства нетронутого массива достигают 150-200 МПа.

- д.т.н. Зотеев О.В.:

Из текста автореферата не ясно, что понимается под фиктивными контакт- элементами.

Матрицы жесткости контакт-элементов Нго-Скорделиса, Гудмана-Тейлора-Брекке, Кэрола-Алонзо и др. являлись вырожденными, что создавало определенные проблемы при моделировании большого количества пересекающихся трещин. Из текста автореферата не ясно, каким образом в работе решалась эта проблема.

- д.т.н. Киряева Т.А.:

В качестве объекта исследований диссертантом указан массив горных пород. Возможно, следовало провести численные исследования не только для отдельных участков месторождений, но на масштабном уровне месторождений и рудных полей.

Использование определенных эмпирическим путем $k_n = 1e^3 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ и $k_s = 1e^2 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ и лабораторным способом $k_n = 6,42 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ и $k_s = 1.55 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ параметров жесткости трещины дает достаточно близкие результаты численного моделирования. Что может являться причиной?

- д.т.н. Протосеня А.Г.:

Было бы полезно более подробно рассмотреть методику получения экспериментальных данных, особенно в контексте моделирования контактных характеристик.

Во втором защищаемом положении не ясна постановка задачи и ее граничные условия.

В автореферате мало внимания уделено сравнению разработанной методики с существующими подходами. Указание на сильные и слабые стороны относительно других методов оценки НДС с учетом структурных нарушений помогло бы лучше оценить новизну и значимость работы.

- д.т.н. Неверов А.А.:

Замечание редакционного характера - каждая поставленная задача имеет свою новизну и научное положение (как правило). Научные положения, состоящие из нескольких предложений, трудно воспринимаются.

Следует дать пояснения по постановке задачи, расчетной схеме, граничным условиям, в том числе контактного взаимодействия (типа: полного сцепления, частичного проскальзывания, полного проскальзывания).

В автореферате не отмечены критерии потери устойчивости массива пород под влиянием структурных неоднородностей (разломов, трещин и др.), включая и их самих.

В автореферате говорится об оценке вероятности сдвига по нарушениям, а формализованная её часть отсутствует.

- д.т.н. Аминов В.Н.:

В качестве замечания следует отметить, что из реферата не ясно, насколько эффективно предложенный метод учета параметров структурных неоднородностей встраивается в программу автоматизированного построения регулярной сетки расчетной области массива горных пород.

- д.т.н. Еременко В.А.:

В названии и реферативном представлении диссертационной работы говорится о методике, а в Цели работы «разработка метода ... ». Метод и Методика – это абсолютно разные понятия.

В автореферате используются термины «Разломные структуры», «Структурные неоднородности», «Закрытые трещины», «Контактные элементы на границах разнородных сред», «Закрытая трещина без запомштеля» и т.п. Что все-таки исследовалось и изучалось?

Второе научное положение: как определялись изменения значений напряжений, каких напряжений и почему представлена такая точность в 10%?

- к.т.н. Неугомонов С.С.:

По тексту автореферата в общем описании работы на стр.4 говорится о используемой программе Sigma GT, то есть все исследования привязаны к конкретному ПО конкретного месторождения. Если использовать ПО, в котором уже учитываются параметры трещин проблема точности прогноза будет решена без необходимости проведенных автором исследований? Таким образом формулировки цели и идеи исследований не совсем корректны.

Вывод, сделанный во втором научном положении, гласит «...В противном случае использование контактных элементов на границах разнородных сред не является обязательным условием корректности геомеханических расчетов, так как изменения значений напряжений не превышают 10 %, что сопоставимо с точностью численного моделирования.» Возникает вопрос: в принципе, имеется ли смысл учитывать контактные характеристики трещин при оценке НДС вокруг более масштабных горных объектов: выработки камеры и т.п. которые значительно больше, чем трещины?

Формулировка первого научного положения констатирует ранее известные факты, не ясно что является научно обоснованным и новым в качестве объекта защиты данного положения. Что значит существенное влияние закрытой трещины, какой величиной выражается существенность?

Также говорится о влиянии закрытой трещины. Как зафиксировать её наличие в массиве?

В автореферате к рисунку 1 даётся пояснение о том, что к полученным зависимостям строятся касательные, однако, характер линии рисунка 1 слева позволяет построить несколько касательных, чем обосновано и почему принято именно указанное положение построенной касательной линии?

– к.т.н. Багаутдинов И.И. и д.т.н. Шабаров А.Н.:

В рамках первого защищаемого положения недостаточно внимания уделено прочностным характеристикам контакта трещин;

На стр. 22 автореферата отмечено, что «... при наличии трещины несколько ниже вероятность разрушения кровли выработки в динамической форме». На наш взгляд утверждение является спорным. Многолетние наблюдения на Хибинских месторождениях свидетельствуют, что наличие подобных нарушений, в том числе первого типа, о которых упомянул автор диссертационной работы, часто способствует возникновению геодинамических явлений.

- д.т.н. Анциферов С.В.:

Принятое название диссертационного исследования, по нашему мнению, не в полной мере соответствует приведенным в тексте автореферата цели и идеи работы, сужая область рассматриваемых проблем.

Автором в тексте применяется не совсем удачная терминология, например, предложенные для использования контактные элементы, сохраняющие регулярность конечно-элементной сетки и учитывающие структурные нарушения состояния породного массива, именуются «фиктивными» (с. 5) или «нулевыми фиктивными» (с. 11), что как бы принижает их роль; при изложении практической значимости работы упоминается реализация некоего «инструмента», позволяющего выполнять вероятностную оценку деформации сдвига (с. 6); «нормальная и тангенциальная жесткости» (такая терминология

может быть использована при введении полярной системы координат) вместо общепринятых жесткостей при растяжении-сжатии и сдвиге (с. 11), которые характеризуют особенности поведения горных пород вблизи трещин и пр.

Чересчур большое внимание уделено благодарностям за совместную работу, т.к. большинство приведенных фамилий находятся в списках соавторов опубликованных работ.

К сожалению, в тексте автореферата присутствует достаточно большое количество опечаток пунктуационного характера, что затрудняло в ряде случаев понимание сути излагаемых положений.

- к.т.н. Синегубов В.Ю. и к.т.н. Вильнер М.А.:

Из текста автореферата непонятно, каким образом внедряются контактные элементы в регулярную сетку в том случае, если они не совпадают с направлением поверхностей элементов конечно-элементной сетки.

Оценка влияния на напряженное состояние породного массива в окрестности породного обнажения разгрузочных мероприятий выполнялось с применением контактных элементов, при этом их жесткость принималась постоянной. В то же время известно, что жесткость породных прослоев между разгрузочными скважинами изменяется по мере их срабатывания. Требуется пояснение о допустимости такого подхода для моделирования изменения НДС в результате разгрузочных мероприятий.

-к.ф.-м.н. Павлов Д.В.:

Не совсем удачно сформулировано второе защищаемое положение. Из текста автореферата неясно, почему при отличии деформационных свойств структурной неоднородности от аналогичных свойств вмещающего массива более, чем на порядок, при использовании контактных элементов на границах разнородных сред изменения напряжений в окрестности структурной неоднородности не превышают 10%.

Совершенно не читаются значения компонент главных напряжений моделей на рисунках 5, 6 и 11. Может быть, стоило ввести цветовую шкалу напряжений?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высоким уровнем их компетентности в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей области исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– выбран численный метод для решения статической задачи теории упругости. Проведен ряд оценочных тестов адекватности получаемых расчетных данных при использовании реализованного алгоритма. Алгоритм расширен возможностью внедрения контактных элементов по поверхности моделируемой структуры, как в плоской, так и

объемной постановке;

- определены усредненные значения нормальной и тангенциальной жесткости закрытой трещины без явного наличия заполнителя;

- проведен анализ результатов расчетов НДС блока в трехмерной постановке разломной структуры с заполнителем. Выделены классы моделей, в которых внедрение контактных элементов по границе разлома наиболее эффективно;

- представлен использующийся на сегодняшний день подход к моделированию структурных неоднородностей с замещением их композитным материалом. Описан алгоритм расчета максимальных касательных напряжений и объемного отображения площадок сдвига, который позволяет оценить вероятность сдвига по поверхности структурной неоднородности. Установлена необходимость разработки узконаправленного инструмента для учета характеристик контакта блочных структур при моделировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород;

- решена проблема сохранения структурированной сетки конечных элементов, при использовании контактных элементов по плоскости структур. Для этого разработан специальный фиктивный элемент, сохраняющий изотропность ненарушенного массива, граничащего со слоем контактных элементов.

- предложена методика моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом структурных неоднородностей, позволяющая оценить влияние разломных структур с различным масштабом и типом заполнителя на вероятность сдвига по их контакту и распределение главных нормальных компонент напряжений;

- выполнено численное моделирование крутопадающей структурной неоднородности с учетом полного тензора напряжений, углы главных компонент которого, действуют в отличном от нормального направления по отношению к самой структуре. Получены результаты, подтверждающие геодинамическую характеристику массива в окрестности исследуемого объекта.

Научная новизна работы заключается в разработке фиктивных контактных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния массива со структурными нарушениями, что позволяет сохранять регулярную конечно-элементную сетку; определении параметров жесткости для закрытых трещин в образцах пород месторождений Хибинского массива; установлении степени влияния соотношения упругих характеристик заполнителя и вмещающего массива на распределение напряжений в окрестности моделируемой разломной структуры; подходе к учету влияния структурных

неоднородностей с различным масштабом и типом заполнителя на перераспределение параметров поля напряжений участка массива горных пород.

Практическая значимость работы заключается в развитии подхода Р. Гудмана для трёхмерного случая, что позволило вывести матрицу жёсткости трёхмерного контактного элемента и расширить возможности объемного численного моделирования контактов в задачах геомеханики; реализации инструмента, позволяющего производить оценку вероятности сдвига по значениям касательных напряжений и пространственной ориентировке площадок сдвига; разработка алгоритма автоматизированного построения регулярной сетки конечных элементов для объектов горной технологии вблизи структурных нарушений горного массива; определение усредненных значений нормальной и тангенциальной жесткости закрытой трещины для образцов вмещающих пород месторождений Хибинского массива; определение диапазона контактных характеристик, параметров структурной неоднородности и условий нагружения модели, при которых достаточным является задание элементам внутри структуры соответствующих упругих свойств, разработка подхода к учету структурных неоднородностей при моделировании НДС массива может быть использован для оценки состояния массива при планировании и ведении горных работ.

Обоснованность научных положений и выводов, представленных в работе, подтверждается использованием современных методов исследований, непротиворечивостью полученных результатов и выводов.

Достоверность научных положений и выводов обеспечена использованием классических гипотез и положений геомеханики и теории упругости, сопоставлением данных лабораторных испытаний нарушенных образцов пород на сдвиг с результатами полученными другими исследователями, сравнительной оценкой расчетных данных моделей с внедрением разработанного фиктивного элемента и с классической сеткой конечных элементов, использованием граничных условий локальных моделей, соответствующих исследуемым участкам месторождений и основанных на результатах измерения напряжений *in situ*, сходимостью результатов геодинамической характеристики массива по данным визуального обследования выработок с данными моделирования: распределением компонент главных напряжений в окрестности моделируемой структуры и расчетной категорией состояния выработки.

Личный вклад автора состоит в разработке алгоритмов и программных модулей, позволяющих использовать объемные контактные элементы в структурированной сетке конечных элементов, лабораторных испытаниях образцов на сдвиг и анализ полученных

результатов для получения параметров жесткости закрытой трещины, проведении расчетов напряженно-деформированного состояния массива пород методом конечных элементов, анализе и обобщении результатов численного моделирования, разработке методики моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом структурных неоднородностей, позволяющей оценить влияние разломных структур с различным масштабом и типом заполнителя на вероятность сдвига по их контакту и распределение напряжений.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических исследований, лабораторных измерений и результатов численного моделирования решена задача учета структурных неоднородностей с определением диапазона эффективного использования объемных контактных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород со структурными нарушениями.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным в пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

На заседании «19» февраля 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Дмитриеву Сергею Владимировичу ученую степень кандидата технических наук за научно обоснованное решение актуальной научно-технической задачи учета структурных неоднородностей при исследовании напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.8.6, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени – 19, против присуждения учёной степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета:
академик, докт. техн. наук

Захаров Валерий Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
докт. техн. наук

Федотенко Виктор Сергеевич

Дата оформления Заключения:

«19» февраля 2025 г

Подписи В.Н. Захарова и В.С. Федотенко заверяю
Учёный секретарь ИПКОН РАН, докт. техн. наук



Кубрин Сергей Сергеевич