

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.096.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЕ 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. № 1Д/25

О присуждении Кульковой Марии Сергеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Геомеханическое обоснование параметров отработки Ждановского месторождения с учетом особенностей физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния массива» по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите «27» ноября 2024 г. (протокол заседания №12Д/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.

Кулькова Мария Сергеевна, дата рождения 08.06.1989, в 2012 году с отличием окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет» по специальности «Физические процессы горного или нефтегазового производства» и получила квалификацию горный инженер. С 2012 по 2019 г работала на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК» в должности инженера и руководителя группы мониторинга горного давления. С 2018 по 2022 гг прошла обучение в аспирантуре Горного института Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук». С 2022 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, №08-186/22 выдан 04.07.2022 Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральным исследовательским центром «Кольский научный центр Российской академии наук».

Диссертация выполнена в Горном институте – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «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:

Вознесенский Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»;

Барышников Василий Дмитриевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией диагностики механического состояния массива горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Хабаровск) в своем положительном отзыве, подписанном Потапчук Мариной Игоревной, кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории цифровых методов исследований природно-технических систем Института горного дела ДВО РАН – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, и Сидяром Александром Владимировичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, указала, что диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью, представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, соответствует требованиям пп 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Кулькова Мария Сергеевна, 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 9 печатных работ, из которых 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 – в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus.

В опубликованных научных работах соискателя приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований оценки устойчивости массива горных пород при стадийной отработке запасов линзы Ждановского месторождения, оценка напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности подземных выработок глубокого заложения, исследование параметров обрушения подработанной толщи пород.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

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

1. Kulkova M.S., Zemtsovsky A.V. Optimizing parameters of stopes and pillars for the Zhdanov deposit mining // Eurasian mining. 2019. № 1. С. 13-15 (ВАК, WoS, Scopus).
2. Кулькова М.С., Земцовский А.В. Оценка устойчивости массива при стадийной отработке запасов линзы Ждановского месторождения по результатам моделирования его напряженнодеформированного состояния // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-2. С. 103-110 (ВАК, Scopus).
3. Козырев А.А., Земцовский А.В., Кулькова М.С., Соннов М.А. Опыт применения САЕ Fidesys при разработке численных геомеханических моделей Ждановского месторождения // Горная промышленность. № 6. С. 94-98 (ВАК, Scopus).
4. Семенова И.Э., Розанов И.Ю., Кулькова М.С. Комплексное исследование параметров обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения // Горный журнал. 2023. № 12. С. 49-54 (ВАК, Scopus).
5. Семенова И.Э., Константинов К.Н., Кулькова М.С. Оценка напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности подземных выработок глубокого заложения комплексом инструментальных и численных методов // Горный журнал. 2024. № 1. С. 22-28 (ВАК, Scopus).
6. Semenova I.E., Kulkova M.S. Creation of a numerical geomechanical model for the Zhdanovskoe ore deposit // ISRM International Symposium - EUROCK 2020 (Scopus).
7. Kozyrev A.A., Zemtsovskii A.V., Kulkova M.S. The estimation of the rock mass stress state of the Zhdanovskoe deposit, Kola MMC // Topical Issues of Rational Use of Natural

Resources 2019, Vol. 1. Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO. 2020. CRC Press. Pp. 189-196 (Scopus).

8. Semenova I.E., Kulkova M.S. The stress distribution around the mining excavations under different tectonic loads // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 833. Pp. 012127 (Scopus).

На диссертацию и автореферат поступило 17 отзывов: д.т.н. Калмыков В.Н., д.т.н. Зотеев О.В., д.т.н. Киряева Т.А., д.т.н. Сидоров Д.В., д.т.н. Маслобоев А.В., -д.т.н. Саммаль А.С. и д.т.н. Деев П.В., д.ф.-м.н. Вершинин А.В., д.т.н. Макаров А.Б., 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. Криницын Р.В., к. ф.-м.н. Шарафиев З.З., к.т.н. Багаутдинов И.И. и д.т.н. Шабаров А.Н., к.т.н. Власенко Д.С.

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.:**

Не указана глубина применимости выражений для расчета компонент напряжений вблизи поверхности.

На стр. 12 автореферата отмечается, что наибольшей степени разрушения подвержены выработки штрекового направления, не понятно почему, ведь они ориентированы по направлению максимальной компоненты?

- **д.т.н. Зотеев О.В.:**

Из текста автореферата не ясна ориентировка главных нормальных напряжений за исключением напряжений максимального сжатия, ориентированного по простиранию рудного тела.

Также не ясно, почему наибольшие разрушения приконтурной части массива наблюдаются в выработках штрекового направления, хотя, исходя из ориентировки максимального сжимающего напряжения, наиболее уязвимыми должны быть выработки ортового направления.

Из текста автореферата не ясно, могут ли использоваться полученные наработки в условиях других месторождений.

- **д.т.н. Киряева Т.А.:**

В тексте автореферата указано, что все исследованные породные разности, слагающие Ждановское месторождение, являются склонными к удароопасности, однако на диаграмме, приведенной на рисунке 4 видно, что несколько точек находятся в зоне со значениями коэффициента удароопасности $K > 1$.

- д.т.н. Сидоров Д.В.:

Каким образом использовались в численных расчетах напряженно-деформированного состояния массива пород коэффициенты структурного ослабления?

Необходимо уточнить, к природному или природно-техногенному полю напряжений относятся приведенные на рисунке 7 автореферата результаты реконструкции главных компонент напряжений.

Необходимо пояснить причины изменения направления действия максимальных напряжений в приконтурном массиве БДШ 1-4 гор. -400 м вкост простирания от лежащего к висячему боку ЦРТ (рисунок 18 автореферата) от установленного генерального направления действия максимальных напряжений по простиранию месторождения.

- д.т.н. Маслобоев А.В.:

В автореферате подробно описаны полученные автором теоретические результаты, но не приводится их сравнение с известными решениями, а также не представлены методические рекомендации по их применению горнопромышленными компаниями.

Отсутствует конкретика о размерностях (количестве блоков и связей между ними) созданных цифровых геомеханических моделей НДС массива пород Ждановского месторождения, что является важным с точки зрения оценки адекватности моделей реальному объекту и полноты учета необходимых параметров для моделирования в заданных геотехнических условиях.

Из автореферата не ясно, какой прогноз критических состояний массива реализуется при моделировании НДС - пассивный или активный?

Автором недостаточно четко обозначен достигнутый полезный эффект от внедрения теоретических разработок в деятельность горнопромышленных предприятий региона и, если на этапе обоснования такая оценка была получена, то в чем она выражается и какой результат?

- д.т.н. Саммаль А.С. и д.т.н. Деев П.В.:

Автору следовало представить более подробное описание геомеханической и компьютерной модели горного массива, реализованной в ходе выполненного исследования.

Основное внимание в работе уделено изучению распределения максимальных и минимальных напряжений в окрестности горных выработок. Представляется, что вместе с этим было бы уместным уделить внимание рассмотрению зон возможного разрушения, то есть областей вокруг обнажений, в которых нарушаются условия объемной прочности горных пород.

3. Считаю, что автору следовало бы более конкретно указать, какие именно параметры отработки месторождения были обоснованы в результате выполненных исследований.

- д.ф.-м.н. Вершинин А.В.:

На стр. 14 автореферата говорится об использовании САЕ-пакета SigmaGT для построения геомеханических моделей месторождения с целью реконструкции поля НДС. Необходимо пояснить, как проводилась верификация данных и численных моделей. Судя по приведенному описанию, геомеханическая модель итерационно подстраивалась под результаты натурных измерений. Отсутствует описание численной модели, использовавшейся для проведения расчетов.

Нужно пояснить разницу между исходной и измененной геомеханическими моделями, для которых приведены поля напряжений на стр. 14.

Не указан диапазон применимости формул (3)-(4) на стр. 15, задающих немонотонное изменение главных напряжений с глубиной (в отличие от монотонного изменения на рис. 7). При использовании САЕ-пакета есть возможность получения трехмерного поля напряжений в произвольной точке. В этой связи неясно, чем вызвана необходимость выполнения интерполяции полиномами, не учитывающими геомеханику поля НДС.

Необходимо пояснить, как проводилась верификация численных геомеханических моделей, использовавшихся для геомеханического обоснования безопасного ведения горных работ на стр.16. Как решался вопрос с сингулярностями (в рамках упругой модели материала) напряжений в углах выработок (рис. 12-13)?

- д.т.н. Макаров А.Б.:

После элегантно решенной задачи реконструкции природных напряжений по глубине было бы логично рассмотреть изменение с глубиной прочностных свойств массива. Этот вопрос в диссертации не рассмотрен.

- д.т.н. Неверов А.А.:

Судя по названию работы объект и предмет исследования не совсем удачно сформулированы, рассматривается объект - отработка (или параметры отработки) месторождения, а вот с учетом физико-механических свойств (предмет) изучается эта отработка.

Каждой научной новизне соответствует свое научное положение (научная новизна формулирует научное положение). В работе одна новизна.

Научные положения желательно было бы выразить более основательно, не с позиции для конкретного месторождения, а как устоявшиеся закономерности или связи, что относилось бы их не к частному случаю.

В автореферате упущена постановка задачи, расчетная схема с краевыми условиями.

Какие параметры отработки обосновал автор, и почему на картинах изменения НДС

отсутствуют горные выработки (орта, штрека), ведь это основные элементы, где работают люди (к основным параметрам относятся линейные размеры-расстояния между буродоставочными выработками, подэтажами и др.).

- д.т.н. Аминов В.Н.:

Из реферата не ясно, в каком направлении следует предусмотреть дальнейшее развитие выполненных исследований, а также предлагаются ли конкретные направления совершенствования метода численного моделирования для решения подобных задач.

- д.т.н. Еременко В.А.:

В актуальности проблемы констатируется, что необходимым условием потенциального динамического разрушения является действие таких величин напряжений, значения которых близки или превышают предел прочности горной породы на сжатие, способной накапливать энергию упругих деформаций. Следует отметить, что и предел прочности на растяжение горной породы также эффективно влияет на ее способность хрупко разрушаться в динамической форме в условиях проходки и поддержания горных выработок, особенно в зонах растягивающих деформаций, но не в сильно трещиноватых массивах.

В первом научном положении говорится от хрупкости горных пород и склонности их к разрушению при коэффициенте структурного ослабления от 0,3 до 0,4. Практика показывает, что структурная нарушенность скального массива в таких диапазонах K_c влияет на формирование скальной пластичности при проходке и поддержании горных выработок с девиаторном распределением величин высоких напряжений в исходном поле, а не на удароопасность массива.

- к.т.н. Неугомонов С.С.:

Указанные на странице 4 автореферата задачи исследований 2 и 3, на наш взгляд, подразумевают получение одного и того же результата или имеются какие-либо отличия?

В таблице 2 приведены значения коэффициента структурного ослабления (K_c), определенные по разным методикам для выделенных доменов. не совсем ясно почему автором предпочтению использовать критерий прочности Хука-Брауна, поскольку по другим методикам диапазон значений также находится в пределах 0,3-0,4.

Чем обосновано значительно большее количество проб перидотитов и пироксенитов при испытаниях, результаты которых указаны на рисунке 4 автореферата?

- к.т.н. Криницын Р.В.:

В автореферате недостаточно представлено описание применяемого геомеханического моделирования, геомеханической модели;

Не ясно, как учитывалось наличие тектонических зон в массиве.

- к. ф.-м.н. Шарафиев З.З.:

Каким образом при создании геомеханических моделей НДС использовались коэффициенты структурного ослабления?

Применимы ли полученные результаты для других месторождений полезных ископаемых?

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

Из текста автореферата непонятно, какие количественные физико- механические характеристике массива были использованы при выполнении численного моделирования; каким образом и по какой методике осуществлялся переход от свойств образца к свойствам массива;

-на стр. 12 автореферата указано, что главные компоненты тензора напряжений определены «... методом полной разгрузки»; при этом не приведены пояснения по какой схеме выполнены измерения, применяемые средства измерений, методика перехода от деформаций к главным напряжениям.

- к.т.н. Власенко Д.С.:

При анализе ФМС горных пород, автор не указывает количество выполненных испытаний и образцов, характер их разрушения, полученные виды средних величин (степенные и структурные, такие как среднеарифметическое, медианное, среднеквадратичное отклонение, квартили, IQR).

В соответствии с работами Ставрогина А.Н., порода считается склонной к удароопасности при $K_y \leq 1$, при этом автор отмечает значения только меньше 1.

Приведенные в таблице значения показывают, что массив имеет не более 1 системы трещин (Перидотиты), а показатель RQD -показывает относительно небольшую частоту трещин, таким образом для данного типа пород коэффициент структурного ослабления в соответствии с СП 91.1333.20212 с Изменениями №1 от 2021 г не может быть равен 0,4.

При сопоставлении графиков напряжений фактических замеров с расчетными до глубины 750 м значения напряжений либо практически равны расчетным, либо значительно выше, однако с увеличением глубины, значения расчетных напряжений становятся меньше измеренных, происходит разгрузка массива. Необходимо пояснить с чем это связано.

На рисунке 16 приведена классическая схема образования вывала по трещине. Такие вывалы можно стараться учитывать при помощи кинематического анализа, но они не могут характеризовать субвертикальное направление 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:

– установлено, что все породы и руды Ждановского месторождения имеют значительные величины предела прочности ($\sigma_{сж}$) на сжатие и относятся к скальным. Среднее значение $\sigma_{сж}$ для интрузивов ультраосновного состава (перидотитов и пироксенитов) составляет 149 МПа, для интрузивов основного состава (габбро, габбро-диабазов, диабазов) - 130 МПа, для пород туфогенно-осадочного происхождения и филлитов- 106 МПа. Все породы и руды Ждановского месторождения являются хрупкими и потенциально удароопасными;

– определены коэффициенты структурного ослабления k_c : для вмещающих пород туфогенно-осадочного происхождения и пород, слагающих рудные тела $k_c = 0,3$; для вмещающих интрузивных пород $k_c = 0,4$;

– определено, что тип природного напряженного состояния массива пород Ждановского месторождения является гравитационно-тектоническим. Максимальная компонента напряжений действует субгоризонтально направлена по простиранию рудных тел. Определены соотношения главных компонент природного поля напряжений Ждановского месторождения: $\sigma_{max} : \sigma_{np} : \sigma_{min} = 1 : 0,5 : 0,4$. Коэффициенты бокового давления ($\lambda = \sigma_{гор}/\sigma_{верт}$) равны, соответственно, $\lambda_1 = \sigma_{max}/\sigma_{np} = 2$, $\lambda_2 = \sigma_{min}/\sigma_{np} = 0,8$;

– выполнен прогноз изменения значений главных компонент природного поля напряжений массива пород Ждановского месторождения с глубиной до 1000 м в двух вариантах: с линейной аппроксимацией: $\sigma_{max} = 0,05 \cdot z + 6,5$, МПа; $\sigma_{min} = 0,02 \cdot z + 2,5$, МПа; с учетом замедления роста тектонических компонент:

$$\sigma_{max} = -2 \cdot 10^{-8} Z^3 + 5 \cdot 10^{-5} z^2 + 0,03 \cdot z + 5, \text{ МПа}; \sigma_{min} = -8 \cdot 10^{-9} \cdot z^3 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z^2 + 0,01 \cdot z + 2, \text{ МПа};$$

– обоснованы наиболее безопасный и рациональный порядок отработки запасов рудных тел в пределах подэтажа, а также конфигурация опережений очистной выемки в масштабах блока (блоков). Установлены особенности НДС в приконтурных массивах подземных выработок. Полученные параметры НДС массива подтверждают высокую вероятность проявления динамических форм горного давления ниже отметки -430 м, что соответствует глубине 700 м от дневной поверхности.

Научное значение работы заключается в определении параметров природного напряженного состояния массива пород Ждановского месторождения и выявлении закономерностей изменения компонент тензора напряжений с глубиной посредством

реконструкции геотехнической ситуации с использованием объемного численного геомеханического моделирования на основе анализа результатов натуральных исследований НДС.

Практическая значимость работы заключается в генерации численных геомеханических моделей на основании данных лабораторных испытаний образцов основных породных разностей, натуральных исследований поля напряжений, визуальном обследовании состояния горных выработок, а также оценки характеристик массива горных пород Ждановского месторождения. Данный комплекс моделей используется на предприятии и позволяет определять области критических состояний массива пород в процессе выемки запасов рудных тел, разрабатываемых АО «Кольская ГМК».

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

Достоверность научных положений и выводов обеспечена представительным количеством опытов и применением современного высокоточного оборудования при выполнении лабораторных и натуральных исследований, точностью и надежностью методов математической статистики, применяемых при обработке результатов лабораторных испытаний, достаточной степенью сходимости при выполнении расчетов при моделировании НДС, а также верификацией результатов расчетов НДС данными визуальных наблюдений в подземных горных выработках Ждановского месторождения.

Личный вклад автора состоит в обработке, систематизации и анализе результатов лабораторных испытаний и натуральных измерений параметров поля напряжений, выполнении натуральных исследований по определению характеристик массива пород Ждановского месторождения, участии в постановке цели и задач исследования, разработке комплекса разномасштабных численных геомеханических моделей НДС, анализе и интерпретации результатов моделирования, сравнении их с данными натуральных исследований, выявлении зон развития критических состояний массива горных пород и обосновании рекомендаций по геодинамически безопасному ведению горных работ. Таким образом, основные положения, выносимые на защиту, принадлежат автору работы.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований изложены научно обоснованные параметры отработки с учетом особенностей физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния массива на примере Ждановского месторождения.

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 Кульковой Марии Сергеевне ученую степень кандидата технических наук за научно обоснованное решение актуальной научно-технической задачи установления закономерностей распределения напряжений с глубиной в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений в прочных скальных массивах пород с учетом особенностей в соотношении величин главных напряжений.

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