

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента

Рыбина Вадима Вячеславовича

на диссертационную работу **Ударцева Артема Александровича**

«Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукammerных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

1. Структура, содержание и завершенность диссертации

Рецензируемая диссертационная работа представлена в виде рукописи, подготовленной в соответствии с требованиями ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. Диссертация построена по традиционному принципу и состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического указателя, включающего 150 отечественных и 58 зарубежных источников. Текст изложен на 212 страницах машинописного текста, включая 64 рисунка, 12 таблиц и 7 приложений.

Во *введении* выполнено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, сформулированы цель, идея и задачи работы, основные научные положения, выносимые на защиту, обозначены научная новизна и практическая значимость работы.

В *первой главе* приведена краткая характеристика горно-геологических и горнотехнических условий разработки Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), проведен анализ состояния конструктивных элементов камерной системы разработки. На основе подробного анализа состояния исследований в области устойчивости грузонесущих элементов камерной системы разработки, выявлены основные факторы, влияющие на несущую способность соляных междукammerных целиков (МКЦ), роль которых требует дополнительного уточнения.

Во *второй главе* представлены обобщённые (включая данные ранее выполненных исследований) результаты лабораторных испытаний прямоугольных образцов сильвинита различной длины и высоты. Описана методика проведения экспериментальных исследований прочности при сжатии в условиях одноосного нагружения. Получен комплекс прочностных

и деформационных характеристик исследуемых образцов, анализ которых показал, что с увеличением длины образца происходит увеличение предела прочности, разрушающей деформации и удельной энергоемкости разрушения для всех серий испытаний, при этом интенсивность роста данных показателей снижается с увеличением длины образца. Модуль деформации (секущий) с увеличением длины образцов практически не изменяется, а касательный модуль деформации имеет тенденцию к снижению при увеличении длины образцов. Аналогичная картина наблюдается для модуля упругости и модуля спада. На основе проведенных исследований получены новые эмпирические соотношения, отражающие влияние длины образца на его механические характеристики. По результатам исследований предложено новое уравнение коэффициента протяженности, корректирующее расчет агрегатной прочности соляных междокамерных целиков в зависимости от отношения их длины к ширине, дана сравнительная оценка степени их нагружения на примере одного из рудников ВКМКС. Установлено, что расчет по новым рекомендациям снижает данный показатель в среднем на 16,6 % по сравнению с нормативным документом. Таким образом, предлагаемая методика позволяет уточнить влияния длины междокамерных целиков на их несущую способность.

В *третьей главе* приведены результаты оценки несущей способности междокамерных целиков на основе испытаний слоистых цементных образцов в условиях одноосного сжатия. Представлена методика изготовления слоистых образцов из песчано-цементной смеси. По результатам эксперимента на одноосное сжатие строились полные диаграммы деформирования, по которым определялись прочностные и деформационные показатели слоистых образцов. Анализ полученных результатов экспериментов выявил уменьшение прочности и разрушающей деформации с увеличением толщины слабого слоя для всех блоков. Часть испытаний на одноосное сжатие проводилась с применением бесконтактной трехмерной оптической системы Vic-3D, интерпретация данных которой показала, что интенсивность деформаций, начало трещинообразования и эволюция трещин приходится на более слабый участок образца. По результатам проведенных исследований построены зависимости изменения прочности слоистых образцов от толщины слабого слоя. Предложена новая эмпирическая зависимость для расчета эквивалентной прочности слоистых междокамерных целиков. Проведен расчет агрегатной прочности пород и степени нагружения междокамерных целиков для условий ВКМКС по действующей и

предлагаемой методике. Результат сравнительного анализа позволил сделать вывод, что новое соотношение дает более достоверную оценку в условиях повышенного содержания глины и может применяться на практике при расчете несущей способности соляных междокамерных целиков.

В *четвертой главе* представлены результаты определения предела длительной прочности сильвинитовых пород прямым методом в условиях сжатия при одноосном и объемном нагружении. Описана методика проведения длительных испытаний на одноосную и объемную ползучесть. По результатам экспериментов строились кривые ползучести с последующим анализом скоростей деформирования образцов на установившейся стадии. Установлено, что с уменьшением высоты образцов повышается интенсивность деформирования сильвинита на стадиях неустановившейся и установившейся ползучести. Аналогичная картина наблюдается с увеличением бокового давления. Построены кривые длительной прочности (зависимость уровня нагружения от времени разрушения) с последующей оценкой значений коэффициентов длительной прочности, которые для большинства партий сильвинита находились в пределах от 0,35 до 0,45. Установлен характер изменения скорости установившейся ползучести от уровня нагружения сильвинитовых образцов, который хорошо аппроксимируется степенной функцией. По скорости рассчитывалось время разрушения и корректировался уровень действующего нагружения для каждого в отдельности образца. Построены расчетные кривые длительной прочности для одноосного и объемного нагружения. Предложено новое эмпирическое соотношение для описания кривой длительной прочности. На основе длительных и условно-мгновенных испытаний разработана методика определения предела длительной прочности соляных пород, базирующаяся на учёте скорости установившейся ползучести и критических деформаций разрушения. Приведены результаты исследований изменения предела длительной прочности от формы сильвинитовых образцов и приложенного бокового давления. Выведена зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширины целика к его высоте, которая может быть использована для корректировки допустимой степени нагружения междокамерных целиков на участках шахтных полей ВКМКС. Проведен сравнительный анализ допустимой степени нагружения МКЦ по нормативному документу и скорректированной по новым рекомендациям, объясняющий повышенные оседания и скорости деформирования грузонесущих элементов породных конструкций.

В *пятой главе* приведена усовершенствованная методика расчета несущей способности соляных междукammerных целиков, учитывающая фактор их длины, слоистости и реологических свойств слагающих пород. Разработан алгоритм расчета ширины соляных междукammerных целиков при заданной ширине очистных камер и нормативной степени нагружения. Представлен пример расчета ширины междукammerного целика с помощью итерационной процедуры.

В *заключении* в кратком виде сформулированы основные научные и практические результаты работы.

2. Актуальность выполненного исследования

Одной из основных особенностей Верхнекамского калийного месторождения является безводность соляных отложений и обильная обводненность вмещающих пород, покрывающих соляную толщу, мощность которых варьируется от 100 до 300 м. В связи с трещиноватостью и невыдержанностью глинистых прослоев в этих породах нижняя часть соляно-мергельной толщи и покровная каменная соль выполняют роль водоупора для подземных грунтовых вод, известного как водозащитная толща. При нарушении сплошности водозащитной толщи появляется опасность проникновения подземных вод в горные выработки через трещины или другие нарушения, приводящая к большим материальным потерям, а также в нередких случаях к затоплению рудника. С целью гидроизоляции выработанного пространства используют камерную систему разработки с поддержанием вышележащих пород при помощи междукammerных целиков, устойчивость которых во многом определяет сохранность водозащитной толщи.

Устойчивость грузонесущих элементов камерной системы разработки в большей мере определяется степенью их нагружения, которая характеризуется отношением действующей на целик нагрузки и его несущей способности. На Верхнекамском месторождении, согласно действующему нормативному документу, степень нагружения регламентируется на уровне предела длительной прочности соляных пород и не превышает 0,4 – 0,5 от мгновенного предела прочности. В таких условиях целики должны сохранять свою устойчивость в течение длительного времени, обеспечивая сохранность водозащитной толщи и объектов, расположенных на земной поверхности. В то же время, автор диссертационной работы на основании инструментального мониторинга за оседанием земной поверхности, а также

визуального обследования выработанного пространства с контролем скорости горизонтальной конвергенции в очистных камерах выделяет участки шахтного поля, где процесс деформирования несущих элементов камерной системы разработки протекает значительно интенсивнее, чем это регламентирует нормативный документ. Междуканнерные целики деформируются в «податливом» режиме, с фактической степенью нагружения, превышающей допустимые значения. Данный факт свидетельствует о том, что несущая способность целиков на рассматриваемых участках ниже расчетных величин, а существующая в настоящее время методика её оценки требует дополнительной корректировки.

В связи с этим, исследования связанные с совершенствованием методики расчета несущей способности соляных междуканнерных целиков на Верхнекамском месторождении, а также разработка новых подходов её определения на основе установленных экспериментальных зависимостей, являются весьма актуальными и имеют важное значение для теории и практики безопасного освоения месторождений водорастворимых руд.

Исходя из анализа состояния вопроса связанного с влиянием различных факторов на несущую способность целиков, автором диссертационной работы корректно сформулированы цель и идея работы, а также определены основные задачи исследований.

Необходимо отметить, что исследования, представленные в диссертационной работе, выполнялись в соответствии с грантами Российского фонда фундаментальных исследований и в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных Академий наук, а также в рамках крупного научного проекта при финансовой поддержке Минобрнауки России.

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

Автор выносит на защиту три научных положения (стр. 7 диссертации), раскрытых во второй, третьей и четвертой главах диссертационной работы. На достаточно высоком научном уровне с использованием различных методов и подходов соискатель обстоятельно обосновывает полученные результаты исследований и сделанные выводы. Научные положения, вынесенные на защиту, подробно аргументированы и основаны на теоретических и экспериментальных исследованиях.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объемом лабораторных исследований (автором было испытано более 1,5 тысяч образцов). Эксперименты выполнялись на сертифицированном оборудовании с использованием апробированных методик. Также достоверность исследований подтверждается качественной сходимостью с данными других авторов, соответствием полученных результатов современным представлениям о закономерностях деформирования несущих элементов камерной системы разработки соляных пород, апробированием результатов диссертационной работы на различных научных конференциях и их публикациями в открытой печати.

4. Научная новизна и практическая значимость работы

Рассматриваемая диссертационная работа обладает несомненной научной новизной и имеет практическую значимость.

Автором построены новые экспериментальные зависимости, отражающие влияние длины образца на прочностные и деформационные характеристики сильвинитовых пород, которые позволяют получать предельные значения физико-механических показателей при сжатии «бесконечно» длинного целика, а также корректировать расчет его несущей способности.

Построены экспериментальные зависимости влияния толщины слабого слоя на прочность слоистых образцов, изготовленных методом «сплошной заливки». На основании представленных данных выведена формула расчета эквивалентной прочности междукammerных целиков, которая хорошо работает в условиях «нормальной» и «повышенной» глинизации пород.

Предложена новая методика ускоренного построения расчетной кривой длительной прочности для соляных пород, базирующаяся на условно-мгновенных и длительных испытаниях. Предложено новое эмпирическое уравнение для описания полученных кривых, включающее в свое выражение коэффициент длительной прочности. На этой основе была разработана методика определения предела длительной прочности соляных пород при одноосном и объемном сжатии.

На основе анализа результатов экспериментов на ползучесть получена зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширины целика к его высоте, которая использовалась для корректировки допустимой степени нагружения.

Также необходимо отметить, что практическая значимость работы состоит, прежде всего в том, что разработки автора позволили уточнить методику расчета несущей способности соляных междокамерных целиков и разработать алгоритм расчета их ширины. Кроме этого, результаты экспериментальных исследований и методику геомеханических расчетов можно применять при решении конкретных задач, связанных с оценкой безопасных условий разработки водорастворимых руд, не только на ВКМКС, но и на других калийных месторождениях.

5. Замечания по диссертационной работе

По рецензируемой диссертационной работе есть ряд замечаний. К основным из них следует отнести:

1. В Главе 2 на примере одного из рудников ВКМКС представлен расчет степени нагружения ленточных междокамерных целиков с учетом разработанного коэффициента протяженности, на основании которого установлено, что расчет по новым рекомендациям снижает данный показатель в среднем на 16,6 % по сравнению с нормативным документом. Необходимы пояснения, каким образом данный вывод может решить проблему повышенных скоростей деформирования грузонесущих элементов камерной системы разработки на проблемных участках месторождения.

2. В Главе 3 для изучения влияния слоистости на несущую способность соляных целиков автором использовались искусственные образцы, изготовленные из песчано-цементной смеси. Насколько корректным является применение данного эквивалентного материала в представленных исследованиях?

3. Разработанная формула расчета эквивалентной прочности многослойных целиков горных пород, представленная в Главе 3, не учитывает влияние расположения слабого слоя. В ходе проведения экспериментальных исследований, слабый слой располагался в средней части образца. При этом самым слабым звеном в несущей способности грузонесущих элементов камерной системы на ВКМКС являются глинистые прослои, сосредоточенные в верхней части целика. Является ли в данном случае предложенная формула расчета эквивалентной прочности достаточно корректной?

Высказанные замечания носят рекомендательный, в какой-то степени дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку работы, не снижают ее значимости.

6. Соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Диссертация Ударцева Артема Александровича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалифицированной работой, в которой на основе выполненных автором исследований усовершенствована и апробирована методика расчета несущей способности соляных междокамерных целиков на Верхнекамском месторождении.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, которые изложены четким и ясным языком с применением современной научно-технической терминологии. Стил диссертации и автореферата соответствуют уровню научного изложения работ по горной тематике. Текст диссертации проиллюстрирован достаточным количеством схем и графиков. Оформление диссертации и автореферата соответствуют ГОСТ 7.0.11-2011 – «Диссертация и автореферат диссертации».

По теме диссертационной работы опубликовано 17 работ, в том числе 5 из списка изданий, рекомендуемых ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и 6 в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science.

7. Заключение по диссертационной работе

В диссертационной работе Ударцева Артема Александровича «Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междокамерных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)» решен комплекс задач, имеющих важное значение для теории и практики безопасного освоения водорастворимых руд.

Актуальность темы исследования, а также новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов свидетельствуют о соответствии диссертации требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (ред. от 25.01.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертации Ударцев Артем Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник,
руководитель лаборатории геомониторинга
и устойчивости бортов карьеров
Отдела геомеханики ГоИ КНЦ РАН,
д-р техн. наук, доцент



В.В. Рыбин

Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», 184209, Мурманская область, город Апатиты, ул. Ферсмана 24, тел.: +78155579199, e-mail: v.rybin@ksc.ru.

Я, Рыбин Вадим Вячеславович, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

20.08.2025



В.В. Рыбин

Подпись д-р техн. наук, доцента Рыбина Вадима Вячеславовича заверяю:

