

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
технологический университет
«МИСИС», д-р техн. наук, проф.



— М.Р. Филонов

« сентябрь » 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической значимости диссертации **Ударцева Артема Александровича** на тему **«Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукammerных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)»**, представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Актуальность темы исследования

Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС), расположенное на территории Пермского края, является одним из крупнейших в мире по объему геологических запасов. Освоение месторождения осуществляется камерной системой разработки с поддержанием вышележащей толщи опорными междукammerными целиками различных размеров. Оставление междукammerных целиков связано с обеспечением сохранности водозащитной толщи, которая отделяет водоносные горизонты от выработанного пространства. Нарушение сплошности водозащитной толщи грозит прорывом пресных вод в отработанное пространство, что нередко приводит к затоплению рудника.

Безопасность и эффективность ведения горных работ в первую очередь зависит от правильного выбора размеров поддерживающих целиков и оценки их несущей способности, которая определяется комплексом горно-геологических и горнотехнических факторов. Несмотря на то, что существующие методики расчетов позволяют достаточно точно обеспечить устойчивость грузонесущих элементов камерной системы разработки в течение длительного периода времени или на заданный срок службы, на месторождении выделяют участки с повышенной степенью нагружения несущих элементов. Это подтверждается данными по оседанию земной поверхности, а также скоростью горизонтальной конвергенции в очистных камерах, сопровождающейся их интенсивным деформированием. Наиболее вероятной причиной потери устойчивости междукammerных целиков на ВКМКС является не совсем корректный расчет их несущей способности, а

существующий в настоящее время инженерный метод расчета не отражает в полной мере все особенности их деформирования и не позволяет обеспечить безопасность подработки соляного массива.

Диссертационная работа Ударцева А.А. направлена на совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукammerных целиков на Верхнекамском месторождении посредством включения в расчет влияния длины целика, его слоистости и реологических свойств слагающих пород на основе установленных экспериментальных зависимостей. Это, безусловно, актуально и имеет важное научное и практическое значение для безопасного освоения водорастворимых руд.

Анализ структуры и содержания диссертации, ее завершенность

Представленная на отзыв диссертационная работа изложена логично и по своему содержанию полностью отвечает требованиям ВАК РФ к научно-квалификационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация изложена на 212 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав и заключения. Она содержит 64 рисунка, 12 таблиц, 7 Приложений и список использованной литературы из 208 наименований, включающий, в том числе, 58 зарубежных источников. Целью работы являлось включение в расчет несущей способности соляных междукammerных целиков ряда факторов, таких как длина и слоистость целиков, а также реологические свойства пород, определяющих параметры камерной системы разработки на Верхнекамском месторождении.

Во **Введении** сформулирована идея работы, основные задачи исследования, приведены научные положения, которые выносятся на защиту, их достоверность, показана научная новизна работы и ее практическая значимость, отмечено личное участие автора в постановке и решении задач исследования.

В **первой главе** диссертации проведен обзор современного состояния вопроса, связанного с устойчивостью грузонесущих элементов камерной системы разработки и факторов, влияющих на их несущую способность. Приведена краткая характеристика горно-геологических и горнотехнических условий разработки Верхнекамского месторождения калийных слоев, произведена оценка состояния конструктивных элементов камерной системы разработки. На основании проведенного анализа автором сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена изучению влияния длины соляных междукammerных целиков на их деформирование и разрушение при одноосном сжатии. Приведены результаты экспериментальных исследований прямоугольных образцов сильвинита различной длины и высоты в условиях одноосного сжатия, получены новые эмпирические соотношения влияния длины образцов на их предел прочности. На основании проведенных исследований разработан новый показатель, учитывающий фактор длины поддерживающих междукammerных целиков при определении их несущей способности. Представлен сравнительный расчет степени нагружения

ленточных междукамерных целиков в соответствии с действующим нормативным документом и с учетом новых рекомендаций. На основе представленных в главе результатов соискателем формулируется первое научное положение.

В **третьей главе** отражены результаты исследования влияния слоистости на несущую способность соляных целиков. Проведен комплекс испытаний слоистых образцов, изготовленных из песчано-цементной смеси, в условиях одноосного сжатия. По результатам определения прочностных свойств построены зависимости изменения прочности слоистых образцов от толщины слабого слоя и разработано новое эмпирическое соотношение расчета эквивалентной прочности междукамерных целиков. Проведен сравнительный расчет агрегатной прочности пород и степени нагружения междукамерных целиков в соответствии с действующей и предлагаемой методиками. На основе представленных результатов сформулировано второе научное положение.

В **четвертой главе** рассматривается влияние реологических свойств пород на несущую способность соляных целиков. Представлены результаты определения предела длительной прочности соляных пород прямым и ускоренным методом в условиях одноосного и объемного сжатия. Разработана новая методика определения коэффициента длительной прочности образцов соляных пород по скорости установившейся ползучести и величине критической деформации на пределе остаточной прочности, которая позволяет сократить время проведения длительных испытаний до 5 – 7 дней. По результатам реологических испытаний получена зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширина целика к его высоте, которая использовалась для корректировки допустимой степени нагружения междукамерных целиков на некоторых участках ВКМКС. На основе представленных данных формулируется третье научное положение.

В **пятой главе** представлен алгоритм расчета ширины соляных междукамерных целиков с учетом их длины, слоистости и реологических свойств пород, который производится с помощью итерационной процедуры. Приведен пример расчета ширины междукамерного целика.

В **заключении** соискателем приводятся основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Таким образом, в диссертации отражена вся основная совокупность вопросов, рассмотрение которых было необходимо для совершенствования методики расчета несущей способности соляных междукамерных целиков на Верхнекамском месторождении.

Научная новизна результатов исследования и значимость для развития геомеханики

Научная новизна диссертационной работы Ударцева А.А. существенна, а значимость полученных результатов для развития науки не вызывает сомнений. Диссертантом построены новые экспериментальные зависимости, отражающие влияние длины образца на прочностные и деформационные

характеристики сильвинитовых пород и позволяющие получать предельные значения физико-механических показателей при сжатии «бесконечно» длинного целика. Кроме этого, построены новые экспериментальные зависимости влияния толщины слабого слоя на прочность составных образцов, изготовленных методом «сплошной заливки». Также автором предложена новая эмпирическая зависимость для расчета эквивалентной прочности междукламерных целиков и новая методика ускоренного построения расчетной кривой длительной прочности для соляных пород, базирующаяся на условно-мгновенных и длительных испытаниях. На основе анализа результатов экспериментов на ползучесть соискателем получено новое эмпирическое уравнение кривой длительной прочности, включающее в свое выражение коэффициент длительной прочности. И наконец, автором предложена зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширина целика к его высоте.

Практическая значимость работы

Несомненно, рассматриваемая работа имеет существенное значение для теории и практики безопасного освоения водорастворимых руд. Практическая значимость диссертационного исследования состоит:

- в разработке нового коэффициента протяженности, учитывающего фактор длины ленточного междукламерного целика при оценке его несущей способности;
- в разработке новой эмпирической зависимости расчета эквивалентной прочности междукламерных целиков, работающих в условиях «нормальной» и «повышенной» глинизации;
- в разработке методики определения предела длительной прочности соляных пород при одноосном и объемном сжатии;
- в обосновании зависимости величины коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширины целика к его высоте, которая использовалась для корректировки допустимой степени нагружения.

Основная практическая значимость работы заключается в уточнении методики расчета несущей способности соляных междукламерных целиков посредством включения в расчет влияния длины целика, его слоистости и реологических свойств слагающих пород, а также в разработке алгоритма расчета ширины целика с помощью итерационного процесса.

Методика геомеханических расчетов, разработанная по результатам и выводам экспериментальных исследований, использована при решении практических задач по оценке безопасных условий разработки на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей. Указанные результаты, выводы, методика могут быть рекомендованы к использованию в следующих организациях: АО «ВНИИ Галургии», ПАО «Уралкалий», АО «Верхнекамская Калийная Компания», ООО «ЕвроХим - Усольский калийный комбинат», ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», ООО «Протех Инжиниринг», а также и в других организациях горного профиля.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для решения поставленных задач в диссертационной работе вполне оправданно использован комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение научного и практического опыта по поставленной проблеме; лабораторные испытания образцов при различных режимах нагружения; физическое моделирование деформирования и разрушения несущих элементов камерной системы разработки; статистический и корреляционный анализ экспериментальных данных.

По результатам комплекса исследований автором выносятся на защиту три научных положения, которые последовательно раскрываются и обосновываются в тексте диссертации (2 – 4 глава) и являются итогом решения сформулированных в работе задач.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объемом экспериментальных лабораторных исследований (испытано более 1,5 тысяч образцов). В процессе экспериментов автор использовал апробированные методики и высокоточное поверенное оборудование. Кроме этого достоверность полученных результатов подтверждается их непротиворечивостью с фундаментальными положениями геомеханики, при общей корректности поставленных задач, а также качественной сходимостью результатов исследования с данными других авторов.

Выводы и рекомендации диссертации информативны, основаны на полученных в работе результатах теоретических и экспериментальных исследований. Результаты научных исследований, выводы и рекомендации прошли достаточную апробацию на российских и международных научных конференциях и опубликованы в 17 научных трудах, в том числе в 5 из списка изданий, рекомендуемых ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и в 6 изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод, что научные положения, вынесенные на защиту, выводы и рекомендации в диссертационной работе аргументированы и обоснованы в достаточной степени.

Оформление диссертации и автореферата

Техническое оформление диссертации и автореферата в целом соответствуют требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 – «Диссертация и автореферат диссертации».

Материалы исследования изложены грамотным научным языком в логической последовательности, содержат необходимые и качественные иллюстрации и литературные ссылки. Выводы по главам составлены корректно и обоснованы результатами исследований в соответствующих разделах, заключение отражает основное содержание диссертации.

Автореферат написан доступно и лаконично и в полном объеме соответствует структуре и содержанию диссертации. В автореферате полностью отражены и обоснованы заявленные научные положения.

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

Замечания и вопросы по работе

В ходе рассмотрения представленной работы возникли следующие замечания.

1. В обзорной главе 1 уделяется излишне большое, на наш взгляд, внимание анализу современного состояния вопроса, связанного с устойчивостью междокамерных целиков и факторов, влияющих на их несущую способность.

2. Не совсем понятно, чем обусловлен выбор высоты образцов, испытанных для определения коэффициента протяженности в главе 2?

3. Согласно обзору, изложенному в главе 1, некоторые исследователи придерживаются мнения, что на устойчивость междокамерных целиков оказывает влияние не только наличие «слабых» пластичных прослоек, но и их местоположение. При этом в работе не представлены результаты исследования механических свойств пород в зависимости от расположения слабого слоя в образце, а разработанная в главе 3 формула расчета эквивалентной прочности междокамерных целиков учитывает только его мощность.

4. Автор справедливо вводит безразмерные коэффициенты протяженности при переносе результатов исследований на образцах разной длины на натурные условия междокамерных целиков. Однако из работы не до конца ясно, учитывают ли эти коэффициенты очевидные различия в контактных условиях «образец плита пресса» и «целик – вмещающий массив».

5. Использование критической деформации, устанавливаемой по результатам условно-мгновенных испытаний, в качестве критерия перехода к прогрессирующей стадии ползучести является оригинальным и логичным подходом. Вместе с тем, к предлагаемой методике возникают обоснованные вопросы, в основном связанные с рисками экстраполяции данных кратковременных испытаний на очень длительные временные периоды, особенно на поздних нелинейных стадиях. Для полного подтверждения надежности методики было бы крайне ценно видеть более прямое сопоставление прогнозируемых значений предела длительной прочности, полученных экспресс-методом, с данными классических длительных испытаний в пределах одной серии образцов-аналогов.

Приведенные выше вопросы и замечания носят дискуссионный и рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Диссертация Ударцева Артема Александровича на тему «Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукammerных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», является завершенной научно-квалификационной работой. По результатам диссертационного исследования решена актуальная научно-практическая задача по совершенствованию методов расчета несущей способности междукammerных целиков, имеющее важное значение для безопасной отработки месторождений калийных руд.

Рассматриваемая диссертационная работа по своему содержанию, объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (ред. от 25.01.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ударцев Артем Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертационную работу и автореферат Ударцева Артема Александровича обсужден и утвержден на заседании кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», протокол заседания № 1 от 01.09.2025 года.

Д.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ МИСИС

В. А. Винников

Д.т.н., профессор, профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ МИСИС

А. С. Вознесенский

Ученый секретарь, к.т.н., доцент кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ МИСИС

А. С. Пугач

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Горный институт. 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1. Канцелярия тел.: +7 495 955-00-32, факс: +7 499 236-21-05. Тел.: +7 499 230-24-23, e-mail: vinnikovva@mis.ru

Подписи Винникова Владимира Александровича, Вознесенского Александра Сергеевича, Пугача Александра Сергеевича заверяю.



Подпись Винникова В.А.; Вознесенского А.С.; Пугача А.С.
Заверяю
Зам. начальника Кузнецова А.Е.
отдела кадров
« 01 » 09 2025 г.