

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН
д-р. физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН

« 15 » апреля 2021 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация «Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукамерных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)» выполнена в лаборатории физических процессов освоения георесурсов «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ГИ УрО РАН») и на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ).

Соискатель Ударцев Артем Александрович с 2010 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В настоящий момент он является младшим научным сотрудником лаборатории математического моделирования геотехнических процессов. В 2013 – 2016 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре «ГИ УрО РАН», на сегодняшний день являющегося филиалом ПФИЦ УрО РАН по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Научный руководитель – старший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов «ГИ УрО РАН», кандидат технических наук, доцент Паньков Иван Леонидович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа соискателя посвящена совершенствованию методики расчета несущей способности соляных междукамерных целиков на Верхнекамском месторождении посредством включения в расчет ряда факторов, определяющих параметры камерной системы разработки. Соискателем справедливо отмечается, что

существующий в настоящее время инженерный метод расчёта несущей способности междукамерных целиков не отражает в полной мере все особенности их деформирования и не позволяет обеспечить безопасность подработки соляного массива. Поэтому особую актуальность приобретает проблема совершенствования методик оценки несущей способности грузонесущих элементов (междукамерных целиков) камерной системы разработки и степени их нагружения. Основная идея диссертационной работы заключается в учете влияния длины, слоистости и реологических свойств пород при оценке несущей способности соляных междукамерных целиков на основе установленных экспериментальных зависимостей.

В своей диссертационной работе соискатель выполнил большой комплекс лабораторных исследований, по результатам которых построил зависимости влияния формы сильвинитовых образцов (целиков) на следующие механические показатели: предел прочности, разрушающая деформация, касательный модуль деформации, модуль упругости, модуль спада, а также удельная энергоёмкость разрушения. Получил предельные значения физико-механических показателей при сжатии «бесконечно» длинного целика. Разработал новую расчетную зависимость определения эквивалентной прочности слоистых соляных целиков, адекватно отражающую изменение их несущей способности при значительной вариации прочностных характеристик и толщин слагающих слоев. На основании реологических испытаний соляных пород вывел зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширина целика к его высоте, которая может быть использована для корректировки допустимой степени нагружения междукамерных целиков на участках шахтных полей ВКМКС.

II. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

При непосредственном участии автора проведена постановка задач исследования и подготовка образцов к испытаниям, выполнен комплекс экспериментов в лабораторных условиях с последующей обработкой и анализом полученных результатов, проведена разработка научных решений и их практическая реализация, сформулированы основные научные положения и выводы.

III. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов работы обеспечивается представительным объемом экспериментальных лабораторных исследований (испытано более 1,5 тысяч образцов), выполненных с использованием апробированных методик и сертифицированного

оборудования, их качественной сходимостью с данными других авторов, соответствием полученных результатов современным представлениям о закономерностях деформирования несущих элементов камерной системы разработки соляных пород.

IV. Новизна и практическая значимость исследования

В диссертационной работе представлены новые экспериментальные зависимости влияния относительной длины образца на прочностные и деформационные характеристики сильвинитовых пород, позволяющие получать предельные значения физико-механических показателей при сжатии «бесконечно» длинного целика. Построены экспериментальные зависимости влияния толщины слабого слоя на прочность составных образцов, изготовленных методом «сплошной заливки». Предложена новая эмпирическая зависимость для расчета эквивалентной прочности междукамерных целиков, работающих в условиях «нормальной» и «повышенной» глинизации. Предложена 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 получено новое эмпирическое уравнение кривой длительной прочности, включающее в свое выражение коэффициент длительной прочности. Получена зависимость изменения коэффициента формы для предела длительной прочности от отношения ширина целика к его высоте.

Практическая значимость работы заключается: в получении экспериментальных зависимостей влияния формы соляных целиков на характер их деформирования, в разработке новой эмпирической зависимости расчета эквивалентной прочности междукамерных целиков, 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, в уточнении методики расчета несущей способности соляных междукамерных целиков, в разработке алгоритма расчета ширины соляных междукамерных целиков.

V. Ценность научных работ соискателя

В диссертационной работе получены экспериментальная зависимость изменения несущей способности соляных междукамерных целиков от длины и формула расчета эквивалентной прочности многослойных целиков горных пород, которые позволяют повысить точность расчета степени нагружения грузонесущих элементов камерной системы разработки. Разработан метод определения коэффициента длительной прочности образцов соляных пород, используемый для корректировки расчета допустимой степени

нагрузки междукамерных целиков различной формы. На основании проведенных исследований разработана усовершенствованная методика определения параметров камерной системы разработки для условий Верхнекамского месторождения с учетом длины, слоистости и реологических свойств пород, слагающих междукамерные целики.

Результаты экспериментальных исследований и методика геомеханических расчетов использованы при решении практических задач по оценке безопасных условий разработки на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей.

VI. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»:

- п.2 «Геомеханическое обеспечение открытой и подземной добычи полезных ископаемых, разработка методов управления горным давлением, удароопасностью, креплением, сдвижением горных пород, устойчивостью бортов карьеров, разрезов, отвалов и подземных выработок»;
- п.3 «Изменения свойств горных пород и грунтов в образцах и в естественных условиях в массиве в результате воздействия механических, тепловых, электромагнитных, физико-химических и других полей»;
- п.5 «Теоретические основы, математические модели и способы управления состоянием и поведением массивов горных пород и грунтов с целью обеспечения устойчивости горных выработок, подземных и наземных сооружений, предотвращения проявлений опасных горно-геологических явлений».

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы подготовлено и 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.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

1. Паньков И.Л. Изучение влияния степени нагружения и формы образцов на деформирование соляных пород при ползучести / И.Л. Паньков, В.А. Асанов, А.А. Ударцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 1. – С. 246-252.

2. Морозов И.А. Анализ деформирования соляных пород Гремячинского и Верхнекамского месторождений в лабораторных условиях / И.А. Морозов, **А.А. Ударцев**, И.Л. Паньков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 10. – С. 16-28. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.
3. Baryakh, A.A. Experimental justification of the fracture criteria of interchamber pillars / A.A. Baryakh, A.V. Evseev, **A.A. Udartsev** // ISRM International Symposium - EUROCK 2020, Trondheim, Virtual, 14–19 июня 2020 года. – Trondheim, Virtual, 2020.
4. Udartsev A. The study of silvinitе and carnallite deformations under instaneous and sustained loading / **A. Udartsev**, I. Pankov // Procedia Structural Integrity : 22nd, Perm, 22–26 марта 2021 года. Vol. 32. – Perm, 2021. – P. 187-193. – DOI 10.1016/j.prostr.2021.09.027.
5. Ударцев А.А. Определение прочностных свойств слоистых образцов, зготовленных методом сплошной заливки / **А.А. Ударцев**, А.А. Асанов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1-1. – С. 404-412. – DOI 10.46689/2218-5194-2023-1-1-404-412.
6. Барях А.А. К оценке длительной прочности соляных пород / А.А. Барях, **А.А. Ударцев**, И.Л. Паньков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 11. – С. 5-22. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_11_0_5.
7. Ударцев А.А. Исследование влияния слабого слоя на несущую способность соляных целиков / **А.А. Ударцев**, И.Л. Паньков, М.А. Ворожцова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 4. – С. 822-834.

VIII. Апробация диссертационной работы

Основные положения и результаты исследований докладывались на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития Верхнекамья» (Пермь-Березники, 2013 г.); на II Международной научно-практической конференция «Горная и нефтяная электромеханика: проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования» (Пермь, 2015 г.); на XXVIII Международном научном симпозиуме «Неделя горняка – 2020» (Москва, 2020 г.); на XXII Зимней школе по механике сплошных сред (Пермь, 2021 г.); на III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения безопасности добычи и использования

калийно-магниевых солей» (Пермь, 2022 г.); на Научной сессии ГИ УрО РАН «Стратегия и процессы освоения георесурсов» (Пермь, 2015, 2023 г.); на V Международной научно-практической конференции на тему «Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей» (Пермь, 2024 г.); на XIX Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2025 г.).

В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных Ударцевым А.А. в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертационная работа Ударцева Артема Александровича «Совершенствование методики расчета несущей способности соляных междукамерных целиков (на примере Верхнекамского месторождения)» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании Объединенного ученого совета Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 40 из 52 человек. Результаты голосования: «за» – 40 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН № 2/25 от 02 апреля 2025 г.

Председатель Объединенного ученого совета,
академик РАН



В.П. Матвеевко

Ученый секретарь Объединенного ученого совета,
к.ф.-м.н.



А.Г. Вогинова