

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.7
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 20.05.2026 № 13

О присуждении Селихову Александру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Геомеханическое обоснование модели деформирования закладочного массива из отходов соляной промышленности» по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика принята к защите 13.03.2026, протокол заседания № 5, диссертационным советом ГУ.7 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 155 адм, с изменениями от 13.07.2023 № 1090 адм, от 29.12.2023 № 1965 адм, от 11.11.2024 № 1690 адм.

Соискатель, Селихов Александр Александрович, 31 марта 1998 года рождения, в 2022 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело.

С 01.10.2022 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Работает ассистентом кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре строительства горных предприятий и подземных сооружений в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель -- доктор технических наук, доцент **Карасев Максим Анатольевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет

императрицы Екатерины II», кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Ашихмин Сергей Геннадьевич – доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем, профессор кафедры;

Куранов Антон Дмитриевич – кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Институт Гипроникель», директор по проектированию технологических дисциплин; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Винниковым Владимиром Александровичем, доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Физических процессов и геоконтроля», Пугачом Александром Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом той же кафедры, секретарем заседания и утвержденном Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям, указала, что теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научных представлений о геомеханике сыпучих и слабосцементированных соляных сред и формировании численного подхода, учитывающего реальные механизмы уплотнения и сдвигового разрушения закладочных материалов. В работе обосновано влияние физико-механических свойств и цементационных связей на напряженно-деформированное состояние массива, показана необходимость перехода от классических упругопластических моделей к моделям с деформационным упрочнением и неассоциированным законом пластического течения. Практическая значимость состоит в возможности применения разработанной методики при проектировании и эксплуатации подземных сооружений на калийных рудниках. Полученные результаты позволяют с высокой точностью прогнозировать напряженно-деформированное состояние междокамерных целиков при совместном взаимодействии с закладочным массивом, обосновывать параметры закладочных работ (в частности, требуемую степень заполнения очистных камер) и выявлять рациональные составы закладочных смесей. Методика может использоваться при разработке инженерных решений, оценке техногенного риска и создании цифровых геомеханических моделей, применяемых в производственной и экспертной деятельности.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Общий объем – 3,25 печатных листов, в том числе 1,85 печатных листов - соискателя.

Публикации из Перечня ВАК:

1. Карасев, М. А. Лабораторные исследования и анализ математических моделей деформирования раздробленных соляных пород / М. А. Карасев, А. А. Селихов, А. К. Бычин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 4(72). – С. 94-105. – DOI: 10.21440/2307-2091-2023-4-94-105. (№ 1268 Перечня ВАК ред. 22.05.2023).

Соискателем проведен анализ ограничений распространенных в настоящее время моделей деформирования закладочных материалов, на основании чего установлено, что наиболее полное описание механического отклика закладочных материалов при сложных траекториях нагружения возможно с применением упругопластических моделей деформирования шатрового класса.

Особое внимание уделено лабораторным исследованиям механического отклика закладочного материала на основе раздробленных соляных пород. Установлена зависимость объемной пластической деформации от уровня средних напряжений, что легло в основу закона упрочнения используемого в модели деформирования закладочного материала.

2. Карасев, М. А. Лабораторное исследование закладочного материала на основе галитовых отходов / М. А. Карасев, А. А. Селихов, А. К. Бычин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 23. – С. 180-188. – DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-180-188. (№ 2629 Перечня ВАК ред. 19.12.2023).

Соискателем установлена экспериментальная зависимость сдвиговой прочности закладочного материала от уровня средних напряжений, что легло в основу определения параметров сдвиговой составляющей поверхности пластического течения в современных упругопластических моделях деформирования, используемых для описания механического отклика закладочных материалов.

Установлено, что угол дилатансии и угол наклона сдвиговой части поверхности пластического течения не равны, что говорит о необходимости применения моделей деформирования с неассоциированным законом пластического течения.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Ильинов, М. Д. Аспекты физического моделирования процессов структурных изменений образцов горных пород при термобарических условиях больших глубин / М. Д. Ильинов, Д. Н. Петров, Д. А. Карманский, **А. А. Селихов** // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 290-302. – DOI: 10.17073/2500-0632-2023-09-150.

Соискатель представил методологические подходы комплексного лабораторного изучения факторов, влияющих на изменение структуры горных пород, включающих вид напряженного состояния, величины главных напряжений, поровое давление и температуру. Анализ используемой в настоящее время нормативной документации на проведение лабораторных исследований показал, что в условиях объемного сжатия не предусматривается воспроизведение перечисленных ранее факторов, что указывает на необходимость разработки специального алгоритма задания граничных условий.

Соискателем составлен алгоритм задания граничных условий при проведении лабораторных исследований в объемном напряженном состоянии. Реализация настоящего алгоритма при исследовании лабораторных образцов послужила исходными данными при разработке и уточнении геомеханических моделей деформирования геоматериалов, учитывающих не только прочностные критерии разрушения, но и дилатансионные процессы на различных этапах деформирования.

4. Петров, Д. Н. Исследование возможности применения методов неразрушающего контроля для оценки прочностных свойств горных пород в условиях подземного рудника Гремячинского месторождения / Д. Н. Петров, В. И. Абашин, М. А. Карасев, **А. А. Селихов** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 12-1. – С. 227-244. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_227.

Соискатель представил методологические подходы к оценке прочностных (предел прочности при одноосном сжатии) и деформационных (динамический коэффициент Пуассона, динамический модуль упругости) свойств соляных пород Гремячинского месторождения калийных солей в полевых условиях.

Соискателем произведены полевые замеры, отбор керн и лабораторные исследования прочностных и деформационных свойств соляных пород, что позволило установить параметры моделей деформирования соляных пород междукамерных целиков.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622340 Российская Федерация. База данных закладочных материалов месторождений водорастворимых руд: № 2024622079: заявл. 23.05.2024: опубл. 29.05.2024 / М. А. Карасев, **А. А. Селихов**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Соискатель внёс ключевой вклад в систематизацию и структурирование массива данных, касающихся физико-механических и деформационных свойств закладочных материалов, применяемых на месторождениях водорастворимых руд. В рамках работы соискатель выполнил масштабный анализ и обобщение общедоступных литературных источников, произвел отбор и верификацию критически важных параметров (химического и гранулометрического состава, прочностных характеристик), необходимых для калибровки современных геомеханических моделей.

Соискателем была разработана логическая структура базы данных и реализована её архитектура в системе управления MySQL для платформы IBM PC. Созданный информационный ресурс позволил унифицировать процесс подготовки входных данных для численного моделирования и существенно повысить точность проведения геотехнических расчетов и оценки напряженно-деформированного состояния междукammerного целика и закладочного массива при их совместном взаимодействии.

Также соискатель участвовал в непосредственном наполнении базы данных, технической отладке SQL-запросов, проверке целостности данных, а также в подготовке реферата и материалов, необходимых для государственной регистрации базы данных.

Апробация основных положений и результатов исследований диссертационной работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

1. XI Международная научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий. Безопасное и эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» 29 мая - 01 июня 2024 г., Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II;

2. XII Международный научно-практический форум «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий. Безопасное и эффективное освоение месторождений полезных ископаемых», 27-31 мая 2025 г., Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II;

3. XVIII Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки в современном мире», 20 июля 2025 г., Уфа, Уфимский университет науки и технологий.

В диссертации Селихова Александра Александровича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заместителя директора по научной работе ИГД СО РАН, главного научного сотрудника лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред, д.ф.-м.н., с.н.с. **С.В. Лаврикова**; профессоров кафедры механики материалов и геотехнологий ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», д.т.н. **А.С. Саммалья** и профессора той же кафедры, д.т.н. **П.В. Деева**; главного специалиста ООО «Геотехническое бюро», к.т.н. **М.А. Вильнер**; инженера проектировщика 2 категории ООО «СПб-Гипрошахт», к.т.н. **Т.С. Астапенко**; директора Департамента научно-технического развития ООО «Институт Гипроникель» к.т.н. **А.В. Трофимова**, заведующего Сектором геомеханики Лаборатории геотехники, к.т.н. **А.В. Колганова** и ведущего научного сотрудника той же лаборатории, к.т.н. **А.В. Федосеева**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В эмпирической формуле (1) для зависимости угла внутреннего трения от среднего давления не сказано в каких единицах вычисляется угол (в радианах или в градусах). (д.ф.-м.н. **С.В. Лавриков**);

2. В автореферате используется скалярная величина q «девиаторное напряжение». Известно, что девиатор тензора напряжений представляет собой тензорную величину. Необходимо дать пояснение, является ли q вторым инвариантом девиатора тензора напряжений, корнем квадратным из него или каким-либо другим параметром. (д.ф.-м.н. **С.В. Лавриков**);

3. Краткое описание выполненных автором лабораторных исследований не позволяет по достоинству оценить методику выполнения экспериментов и применяемые приемы обработки полученных результатов. В частности, следовало более подробно показать, как задавалась траектория нагружения, и каким образом по результатам лабораторных испытаний устанавливалась форма поверхности пластического течения и определялись векторы развития пластических деформаций (стр. 12, 14, рис. 1). (д.т.н. **А.С. Саммалья**, д.т.н. **П.В. Деев**);

4. Представляется, что автору следовало привести описание расчетной модели, применяемой с целью определения напряженного состояния целика при заполнении камеры закладочным материалом (рис. 4), реализация которой позволила получить значения интенсивности нормальных напряжений, превышающие 70 МПа. В частности, непонятно, каким образом моделируется вмещающий массив пород и его взаимодействие с закладкой. (д.т.н. **А.С. Саммалья**, д.т.н. **П.В. Деев**);

5. Автором исследовано влияние добавки цемента, на формирование когезионно-фрикционного поведения закладочного массива. При этом в автореферате не отражено, учитывался ли в численном моделировании фактор времени, необходимый для набора начальной структурной прочности твердеющей смеси; (к.т.н. М.А. Вильнер);

6. Из текста автореферата не вполне ясно, каким образом задавались граничные условия на контакте между стенкой соляного целика и закладочным материалом (учитывалось ли контактное трение, проскальзывание или жесткая связь). (к.т.н. М.А. Вильнер);

7. В автореферате указывается, что для раздробленных соляных пород установлена зависимость угла внутреннего трения от средних напряжений. Однако из текста неясно, каким именно образом данный переменный параметр был программно реализован автором в ПК Abaqus при проведении трехмерных расчетов (через пользовательские подпрограммы, зависимость от переменных полей или задавался послойно). (к.т.н. Т.С. Астапенко);

8. На стр. 14 автореферата приводится модифицированная геомеханическая модель Soft-Rock Plasticity, форма поверхности текучести которой контролируется параметром n_y . При этом в автореферате недостаточно подробно раскрыта методика лабораторного или аналитического определения данного параметра, отвечающего за кривизну вершины поверхности. (к.т.н. Т.С. Астапенко);

9. В автореферате не представлено каким образом осуществлялась калибровка численных моделей междукамерных целиков и закладочного массива. (к.т.н. А.В. Трофимов, к.т.н. А.В. Колганов, к.т.н. А.В. Федосеев);

10. Не учитываются вопросы влияния влажности и кинетики гидратации цементного вяжущего на процесс длительного уплотнения закладочного массива в контексте долгосрочного поведения системы. (к.т.н. А.В. Трофимов, к.т.н. А.В. Колганов, к.т.н. А.В. Федосеев).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика подбора параметров упругопластических моделей шатрового класса для закладочных материалов из отходов соляной промышленности, основанная на выборе траекторий нагружения образцов при проведении комплекса лабораторных исследований;

предложен нетрадиционный подход к прогнозированию напряженно-деформированного состояния закладочного массива при совместном взаимодействии с междукамерными целиками, учитывающий нелинейное

объемное уплотнение, дилатансию и деформационное упрочнение как закладочных материалов на основе раздробленных соляных пород, так и закладочных материалов на основе галитовых отходов с добавлением вяжущего;

доказана нелинейная логарифмическая зависимость угла внутреннего трения раздробленных соляных пород от уровня средних напряжений, а также неассоциированный характер закона пластического течения в сдвиговой части поверхности пластического течения;

введено новое понятие коэффициента снижения напряжений, позволяющее количественно оценивать эффективность поддерживающего влияния закладочного массива по отношению к пустой выработке.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано положение, описывающее механизм изменения поверхности пластического течения галитовых отходах, характеризуемых цементационными связями, заключающийся в переходе от фрикционного поведения к когезионно-фрикционному с образованием единой ассиметричной замкнутой поверхности текучести;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс базовых численных методов механики сплошной среды, а также комплекс экспериментальных методик исследования, включающий испытания с использованием сервогидравлической испытательной установки трехосного сжатия воспроизводящей гидростатическое нагружение образцов закладочного материала, а также нагружение по классической и модифицированной схемам Кармана;

изложены конститутивные уравнения и новый закон пластического упрочнения, математически описывающий эволюцию предела текучести закладочного материала при объемном сжатии в зависимости от накопленных пластических деформаций;

раскрыты существующие недостатки традиционных континуальных моделей (линейно-упругой, Кулона-Мора) при описании механического отклика раздробленных соляных пород, приводящие к некорректной завышенной оценке отпора закладочного массива на ранних этапах нагружения;

изучены причинно-следственные связи между полнотой заполнения отработанных камер, физико-механическими и деформационными свойствами применяемого закладочного материала и интенсивностью нормальных напряжений в несущем ядре целика;

проведена модернизация упругопластической модели шатрового класса путем замены постоянных параметров пластичности на функциональные зависимости, определяемые процентным содержанием цемента в составе закладочного материала.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методика и алгоритм определения рациональных параметров закладочных работ на месторождениях водорастворимых руд;

определены пределы практического использования закладочных массивов на основе раздробленных соляных пород и галитовых отходов с добавлением вяжущего при заполнении выработанного пространства камер;

создана система практических рекомендаций для оперативного расчета требуемой степени заполнения камер и выбора типа закладочного материала в зависимости от количества нерастворимого остатка в слагающих междукамерный целик породах;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию подхода к прогнозу напряженно-деформированного состояния закладочных материалов с учетом их термо-гидравлических и реологических свойств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном и поверенном оборудовании в строгом соответствии с разработанной программой, показана воспроизводимость результатов исследования в условиях нагружения при различных траекториях объемного сжатия;

теория построена на известных, проверяемых данных, согласующихся с фундаментальными положениями механики сплошной среды, теории пластичности геоматериалов и опубликованными данными ведущих исследований, связанных с прогнозом напряженно-деформированного состояния закладочных материалов месторождений водорастворимых руд;

идея базируется на анализе передового отечественного и зарубежного опыта ведения горных работ с закладкой выработанного пространства и обобщении данных о деформировании массивов соляных пород;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике в ходе лабораторных экспериментов и численных расчетов, а также натуральных маркшейдерских наблюдений за конвергенцией выработанного пространства;

установлено количественное совпадение авторских результатов численного прогноза конвергенции выработанного пространства с результатами натуральных замеров;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, алгоритмы явного конечно-элементного анализа, представительные выборочные совокупности материала с обоснованием подготовки образцов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса диссертационного исследования – постановка целей и задач исследования, анализ современного состояния изученности научной области;

разработка программы лабораторных испытаний, отбор и подготовка исследуемых образцов закладочных материалов; экспериментальное и численное исследование механического отклика закладочных материалов и интерпретация полученных результатов; формирование конечного вида полученных закономерностей и результатов; разработка практических рекомендаций в виде номограмм для определения параметров закладочных работ для двух видов закладочного материала и при различном содержании нерастворимого остатка в материале целикков; подготовке основных публикаций по выполненному исследованию и личном участии в апробации результатов на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

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

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Селихов А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и замечания, привел собственную аргументацию.

На заседании 20.05.2026 диссертационный совет принял решение присудить **Селихову А.А.** ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной научной задачи по разработке новой геомеханической модели для прогноза напряженно-деформированного состояния закладочных массивов при совместном взаимодействии с породами целикков, имеющую существенное значение для повышения геомеханической безопасности при разработке месторождений водорастворимых руд.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 4 доктора наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Протосеня
Анатолий Григорьевич

Афанасьев
Павел Игоревич

20.05.2026 г.