

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.135.01,  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук по диссертации на соискание ученой степени  
кандидата (доктора) наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 06.10.2023, № 240

О присуждении Еремину Михаилу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов и сред» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (физико-математические науки) принята к защите 11.05.2023, протокол № 229, диссертационным советом 24.1.135.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4; приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета №1925-1671 от 10.09.2009; приказ об изменении состава диссертационного совета №1153/НК от 30.09.2015; приказ об изменении состава диссертационного совета № 569/НК от 01.07.2019. Последние изменения внесены приказом Минобрнауки №331/НК от 12.04.2021.

Соискатель *Еремин Михаил Олегович*, дата рождения 16.07.1989, окончил в 2012 г. магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (НИ ТГУ), г. Томск, по направлению подготовки Прикладная механика. В 2014 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» и 27.06.2014 защитил диссертацию «Моделирование эволюции напряженно-деформированного состояния нагружаемых геосред и твердых тел как нелинейных динамических систем» по специальности 01.02.04. Механика деформируемого твердого тела в диссертационном совете Д212.267.13 при НИ ТГУ. Диплом кандидата физико-математических наук КНД №003933 от 18.02.2015. Диссертационная работа была выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский



государственный университет» и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

В настоящее время Еремин М.О. работает в должности научного сотрудника лаборатории механики структурно-неоднородных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук. Диссертационная работа «Математическое моделирование процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов и сред» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный консультант - *Макаров Павел Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук - дал положительный отзыв на диссертацию.

Официальные оппоненты: *Лавриков Сергей Владимирович* – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук; *Плехов Олег Анатольевич* – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук и *Сибиряков Егор Борисович* – доктор физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук* в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией геомеханики *Гарагашем Игорем Александровичем*; доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории геомеханики *Галыбиным Александром Николаевичем*; кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга *Дубиней Никитой Владиславовичем* и утвержденном директором института, доктором физико-математических наук Тихоцким Сергеем Андреевичем, указала, что диссертация выполнена на актуальную тему, результаты имеют научную новизну, достоверность результатов и выводов вполне обоснована;



подчеркнула теоретическую и практическую значимость результатов; проанализировала структуру и содержание работы; подтвердила соответствие содержания автореферата тексту диссертации, сделала замечания, не затрагивающие основные положения и выводы работы и не снижающие ее высокой оценки; указала, что диссертация соответствует всем требованиям п. п. II 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней» и является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по комплексному изучению влияния законов накопления повреждений и неупругих деформаций на физико-механические свойства и механическое поведение природных и искусственных материалов и сред.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим: официальные оппоненты являются признанными специалистами в области механики деформируемого твердого тела; имеют публикации, близкие к теме диссертационной работы, являются сотрудниками различных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация широко известна своими научными достижениями в области современной геодинамики, механики природных материалов и сред, а также развитии и применении различных методов решения фундаментальных и прикладных задач.

Соискатель и научный консультант соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в этой организации.

Основное содержание диссертационной работы изложено в 29 публикациях, посвященных численному моделированию механического поведения и разрушения хрупких и квазихрупких материалов и сред (11 – в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 17 – в изданиях, включенных в библиографические базы цитирований Scopus и Web of Science, одной коллективной монографии).

Наиболее значимые работы: 1) Eremin, M.O. Microstructure-Based Computational Analysis of Deformation Stages of Rock-like Sandy-Cement Samples in Uniaxial Compression / M.O. Eremin, V.A. Zimina, A.S. Kulkov, Y.P. Stefanov // *Materials*. – 2023. – Vol. 16. – PP. 1 – 24. 2) Eremin, M., Numerical Analysis of Pillar Stability in Longwall Mining of Two Adjacent Panels of an Inclined Coal Seam / M. Eremin, A. Peryshkin, G. Esterhuizen, L. Pavlova, V. Fryanov // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – P. 11028. 3) Eremin, M. Finite-difference numerical analysis of faulting and accompanying seismicity near the Chuya and Kurai depressions, Gorny Altai, Russia / M. Eremin // *Tectonophysics*. – 2021. – Vol. 803(2). – P. 228703. 4) Eremin, M.O. Three-dimensional finite-difference analysis of deformation and failure of weak porous sandstones subjected to uniaxial compression / M.O. Eremin // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2020. Vol. 133. – P. 104412. 5) Eremin, M.O. Numerical simulation of roof cavings in several kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics



approach / M. Eremin, G. Esterhuizen, I. Smolin // International Journal of Mining Science and Technology – 2020. – №30(2). – P. 157–166. 6) Eremin, M.O. Evaluation of fracture toughness of  $ZrO_2$ -3.0 mol% $Y_2O_3$  ceramics utilizing wedge splitting loading of double cantilever specimen with a chevron notch / M.O. Eremin, E.E. Deryugin, S. Schmauder // Engineering failure analysis. – 2020. Vol. 110. – P. 104409. 7) Deryugin, E.E. Study of deformation and fracture of  $ZrO_2$ +3% $Y_2O_3$  ceramics by wedge splitting of a chevron-notched specimen / E.E. Deryugin, S. Schmauder, V.E. Panin, M.O. Eremin, I.V. Vlasov, N.A. Narkevich, G.V. Lasko, I. Danilenko, O.S. Kvashnina // Engineering fracture mechanics. – 2019. – Vol. 218. – P. 106573. 8) Eremin, M.O. Mathematical modeling of stress-strain evolution in the rock mass around a mine opening. Evaluation of the steps of first roof caving at different thicknesses of the main roof / M.O. Eremin, P.V. Makarov // Physical Mesomechanics. – 2019. – №22(4). – PP. 287–295.

На автореферат диссертации прислали положительные отзывы:

с замечаниями: доктор технических наук **Семи́н М.А.** - ученый секретарь «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук - о существовании дополнительных факторов возникновения аварийных ситуаций в горной выработке; об отсутствии расшифровки обозначений после формул; доктор физико-математических наук **Немирович-Данченко М.М.** – профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники – о неясности роли результатов пятого раздела диссертации в обосновании защищаемых положений; о неясности произведенных записей на рис.35 автореферата; о неясности вида пористости; доктора технических наук **Козырева А.А.** – заведующего отделом Геомеханики Горного института КНЦ РАН - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Кольский научный центр РАН» и кандидата технических наук, старшего научного сотрудника этого учреждения **Кузнецова Н.Н.** – об отсутствии в автореферате сведений о сопоставлении полученных паттернов накопленных повреждений с реальными картинками разрушения образцов при одноосном растяжении; о необходимости проведения механических испытаний в соответствии с ГОСТ 28985-91; доктора технических наук **Сапожникова С.Б.** – главного научного сотрудника, профессора кафедры технической механики Южно-Уральского государственного университета – об отсутствии в автореферате данных по измеренной на образцах акустической эмиссии; об отсутствии сведений о разгрузке материала в зоне целиков при частичном разрушении горных пород; доктора физико-математических наук **Чанышева А.И.** – профессора кафедры Математики и естественных наук Новосибирского государственного университета экономики и управления – о необходимости комментирования



единственности полученных решений при применении в работе неассоциированного закона пластического течения; доктора физико-математических наук **Богомолова Л.М.** – директора Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН – об отсутствии оценки скалярного сейсмического момента, характеризующего косейсмическое смещение вдоль плоскости скольжения;

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработана** математическая модель упруго-хрупко-пластической повреждаемой среды для описания процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов и сред, получены новые выражения для определения параметров модифицированного уравнения Друкера-Прагера для отрицательной и положительной областей пространства напряжений «интенсивность напряжений – гидростатическое давление»; **предложена** модификация кинетического уравнения для определения скалярного параметра закона накопления повреждений в упруго-хрупко-пластических средах с использованием относительного кулоновского напряжения в качестве эффективного напряжения; **предложена** методика определения пороговых напряжений, характеризующих стадийность процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов в условиях одноосного сжатия; **предложена** методика определения шагов обрушения кровли массива природных материалов над выработанным пространством на основе анализа распределения накопленных повреждений в кровле, рассчитанных с помощью численного моделирования продвижения выработки; **предложена** новая модификация классической формулы по оценке устойчивости охранных целиков при подземной отработке наклонных угольных пластов длинными очистными забоями на основе обработки результатов численного моделирования методами математической статистики; **показано**, что при приближении модельной среды к критическому состоянию (при котором возможно обрушение кровли), происходит уменьшение наклона амплитудно-частотной характеристики колебаний напряженного состояния во вмещающих природных материалах, что связано с развитием разрушения на различных масштабах (во всей иерархии).

**Теоретическая значимость исследований** обоснована тем, что **доказаны** положения, вносящие вклад в расширение представлений о закономерностях процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов, а также развития поврежденности в кровле и почве массивов природных материалов в процессе отработки месторождений подземным способом. Совокупность полученных научно-обоснованных решений вносит значительный вклад в модификацию существующих моделей механики деформируемого твердого тела и численных подходов для описания процессов деформации и разрушения природных и искусственных сред; **применительно**



**к проблематике диссертации результативно использован** комплекс разработанного пакета программ и математическая модель упруго-хрупко-пластической среды со структурой для оценок пороговых напряжений и стадийности процесса деформации материалов; **представлен подход к** оценке приближения модельной природной среды к критическому состоянию методами численного моделирования; **обсуждены** перспективы применения разработанных математических моделей и результатов моделирования для понимания законов развития повреждаемости в массивных природных материалах в процессе отработки месторождений подземным способом.

*Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что разработан* численный подход к оценке пороговых напряжений при деформации образцов природных материалов, позволяющий оценивать in-situ прочность массива природных материалов, применяемую при проектировании технологии подземной отработки месторождений; **разработана** численная методика, позволяющая оценивать минимальную необходимую геометрию охранных межлавных целиков наклонных угольных пластов, для обеспечения базового условия геодинамической безопасности ведения горных работ; **разработана** численная методика, позволяющая на основе данных мониторинга оценивать состояние горного массива и близость его элементов к катастрофическому разрушению; **сформулированы** перспективы использования полученных данных математического моделирования для дальнейшего усовершенствования математических моделей для описания развития поврежденности как в нагруженных лабораторных образцах, так и в массивах природных материалов в процессе отработки месторождений подземным способом.

*Оценка достоверности результатов исследования выявила, что* результаты математического моделирования получены с применением проверенных численных методов на оригинальном программном пакете, оттестированном на решении большого количества различных задач, представленных в публикациях по теме диссертации; экспериментальные результаты, представленные в работе, получены с применением современных методов исследования на сертифицированном научно-исследовательском оборудовании; ко всем задачам, решенным в диссертации, представлена подробная математическая постановка, таким образом, полученные результаты являются **проверяемыми и воспроизводимыми**; **основные идеи работы** базируются на анализе и обобщении современных литературных источников по теме математического моделирования процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов; **представлено** сравнение полученных данных с результатами исследований других авторов по тематике диссертации; **установлено** качественное согласие авторских результатов по верификации разрабатываемых моделей с результатами, представленными в независимых источниках по исследованию процессов деформации и разрушения природных



и искусственных материалов и сред; **использованы** современные методики сбора и обработки как данных математического моделирования, так и экспериментальных данных, использованных в работе.

**Личный вклад соискателя** состоит в постановке цели и задач исследования, анализе литературных источников по теме диссертации, проведению всех численных расчетов и обработке результатов моделирования, в непосредственном участии в проведении экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, формулировке выводов и положений диссертации, личном участии в апробации результатов исследования, а также написании научных статей по теме работы и подготовке их к опубликованию.

Диссертация соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, и, согласно п. п. II.9-11, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, научно-обоснованные результаты, а именно – разработка математических моделей упруго-хрупко-пластических повреждаемых сред.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о необходимости пояснений к выбору исследуемой среды, о чувствительности предложенной модели, о возможности применения модели в других задачах. Соискатель Еремин М.О. ответил на заданные вопросы и согласился с критическими замечаниями.

На заседании 06.10.2023 диссертационный совет принял решение – за решение научной задачи по разработке математической модели упруго-хрупко-пластической повреждаемой среды для описания процессов деформации и разрушения природных и искусственных материалов и сред, имеющей существенное значение для оценки состояния горного массива и близости его элементов к катастрофическому разрушению, присудить Еремину М.О. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 23, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Колубаев Евгений Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Сизова Ольга Владимировна

06.10.2023

