

## **СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 27 июня 2014 года публичной защиты диссертации Еремина Михаила Олеговича «Моделирование эволюции напряженно-деформированного состояния нагружаемых геосред и твердых тел как нелинейных динамических систем» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании диссертационного совета присутствовали 20 из 27 утвержденных членов диссертационного совета, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1. Васенин И.М., д-р физ.-мат. наук, 01.02.05, физико-математические науки, заместитель председателя диссертационного совета
2. Христенко Ю.Ф., д-р техн. наук, 01.02.04, физико-математические науки, ученый секретарь диссертационного совета
3. Архипов В.А., д-р физ.-мат. наук, 03.00.16, физико-математические науки
4. Бубенчиков А.М., д-р физ.-мат. наук, 01.04.14, физико-математические науки
5. Бутов В.Г., д-р физ.-мат. наук, 01.04.14, физико-математические науки
6. Герасимов А.В., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
7. Глазунов А.А., д-р физ.-мат. наук, 01.02.05, физико-математические науки
8. Глазырин В.П., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
9. Зелепугин С.А., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
10. Крайнов А.Ю., д-р физ.-мат. наук, 03.00.16, физико-математические науки
11. Кульков С.Н., д-р физ.-мат. наук, 01.04.07, физико-математические науки
12. Люкшин Б.А., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
13. Макаров П.В., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
14. Скрипняк В.А., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
15. Старченко А.В., д-р физ.-мат. наук, 01.04.14, физико-математические науки
16. Тимченко С.В., д-р физ.-мат. наук, 01.02.05, физико-математические науки
17. Черепанов О.И., д-р физ.-мат. наук, 01.02.04, физико-математические науки
18. Шрагер Г.Р., д-р физ.-мат. наук, 01.02.05, физико-математические науки
19. Шрагер Э.Р., д-р физ.-мат. наук, 01.04.14, физико-математические науки
20. Якутенок В.А., д-р физ.-мат. наук, 01.02.05, физико-математические науки

В связи с отсутствием председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича, по его письменному поручению заседание вел заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук, профессор Васенин Игорь Михайлович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить М.О. Еремину учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13 на базе  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский Томский государственный университет»**

**Министерства образования и науки Российской Федерации**

**по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 27.06.2014 г., № 187

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

Диссертация **«Моделирование эволюции напряженно-деформированного состояния нагружаемых геосред и твердых тел как нелинейных динамических систем»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 17.04.2014 г., протокол № 172, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования (в настоящее время – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования) «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 1634-985 от 08.02.2008 г.).

Соискатель **Еремин Михаил Олегович**, 1989 года рождения.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2014 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности программиста лаборатории механики структурно-неоднородных сред федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Диссертация выполнена на кафедре прочности и проектирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации и в лаборатории механики структурно-неоднородных сред федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Макаров Павел Васильевич**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования (на момент назначения научным руководителем – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования) «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра прочности и проектирования, профессор.

Официальные оппоненты:

**Сибиряков Борис Петрович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория многоволновой сейсморазведки, главный научный сотрудник

**Пантелеев Иван Алексеевич**, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория физических основ прочности, младший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук**, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Ребецким Юрием Леонидовичем** (доктор физико-математических наук, лаборатория тектонофизики им. М.В. Гзовского, заведующий лабораторией), указала, что задачи, решенные М.О. Ереминым, требуют высочайшего уровня владения математическими методами и приложены в области геодинамики, где в России в настоящее время получено

мало по-настоящему значимых результатов. Новизна полученных результатов и их научная ценность состоит в разработанном алгоритме учета накопления повреждаемости, прямо влияющей на локальные механические свойства конструкций и геоматериалов. Учет при расчете повреждаемости вида эллипсоида напряжений также является элементом новизны численного расчета. Важным элементом новизны работы является изучение фазы предразрушения и выявление закономерности напряженно-деформированного состояния в период приближения к катастрофе – разрушению. Выводы, полученные в этой части исследований, помогают делать прогноз катастрофических явлений разрушения. Представленные в диссертации и уже опубликованные результаты численных расчетов будут чрезвычайно востребованы в науках о Земле.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8 (из них 1 статья в зарубежном журнале, включенном в Scopus, и 2 статьи в журналах, переводные версии которых включены в Web of Science и Scopus), 12 публикаций в трудах и сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций. Общий объем публикаций – 10,84 п.л., авторский вклад – 6,15 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Макаров П.В., **Еремин М.О.** Модель разрушения хрупких и квазихрупких материалов и геосред // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16, № 1. С. 5-26. – 1,33 / 0,67 п.л.

*переводная версия:* Makarov P.V., **Eremin M.O.** Fracture model of brittle and quasibrittle materials and geomedia // Physical Mesomechanics. 2013. V. 16, Is. 3. P. 207-226. – 1,33 / 0,67 п.л. – DOI: 10.1134/S1029959913030041 (Web of Science)

2. Makarov P.V., **Eremin M.O.** The numerical simulation of ceramic composites failure at axial compression // Frattura ed Integrita Strutturale. 2013. Vol. 24. Special issue: Russian Fracture Mechanics School. P. 127-137. – 0,67 / 0,34 п.л. – DOI: 10.3221/LGF-ESIS.24.14 (Scopus)

3. Макаров П.В., **Еремин М.О.** Явление прерывистой текучести как базовая модель исследования неустойчивостей деформационных процессов // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16, № 4. С. 109-128. – 1,82 / 0,91 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили 5 положительных отзывов. Отзывы на автореферат представили: 1. **А.Ф. Ревуженко**, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. отделом моделирования процессов деформирования и разрушения горных пород Института горного дела СО РАН, г. Новосибирск, и **С.В. Лавриков**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Института горного дела СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний*; 2. **С.И. Сенашов**, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета, г. Красноярск, *с замечаниями*: в формуле (3) приведено первое главное значение девиатора тензора напряжений, но оно равно нулю. Зачем его включать? в автореферате приведены результаты экспериментов, но из текста непонятно, кто их делал; утверждение 10 на стр. 20 является слишком оптимистичным: в настоящее время не существует численных процедур для адекватного решения нелинейных дифференциальных уравнений МДТГ; 3. **А.О. Ватульян**, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой теории упругости Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, *с замечаниями*: материалы по решению конкретных задач описаны крайне скупо; при описании результатов, изображенных на рис. 1, 2, неясно, каким образом нагружалась балка, в какой точке фиксировался прогиб; в разделе 4 диссертации не ясно, какова область, занятая объектом исследования, каков способ нагружения; 4. **А.И. Чанышев**, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора по научной работе Института горного дела СО РАН, г. Новосибирск, *с замечаниями*: на рис. 9 говорится о распределении неупругих деформаций, но не уточняется, о каких деформациях идет речь. 5. Отзыв на диссертацию и автореферат представил **Л.М. Богомолов**, канд. физ.-мат. наук, зам. директора по научной работе Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, *с замечанием*: на рис. 9, 10 автореферата графика недостаточно четкая, векторы тектонического течения в некоторых интересных зонах неразборчивые (в частности, в квадрате  $50-60^\circ$  с.н.,  $110-120^\circ$  в.д.), поэтому не ясно, действительно ли расчет диссертанта дал принципиальный результат: изменение ориентации главной оси тектонического сжатия с субмеридиональной (западнее Байкала) к субширотной (Восток Евразии).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что Б.П. Сибиряков является крупнейшим специалистом в области исследования закономерностей и особенностей деформирования, а также неустойчивых состояний сред со сложной внутренней структурой, в том числе геологических сред; И.А. Пантелеев внес значительный вклад в развитие физических моделей формирования и развития очага землетрясения, а также в исследование фундаментальных закономерностей поведения твердых тел как нелинейных динамических систем; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН является одним из ведущих институтов по наукам о Земле, в котором проводятся комплексные тектонофизические, геодинамические, геофизические, геологические и другие исследования, а также проводятся аналитические и численные оценки напряженно-деформированного состояния горных массивов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработана* модель квазихрупкой среды, в которой предельное напряженное состояние не задается изначально, а формируется в материале в ходе нагружения; прочность материала деградирует с учетом существенно различного отклика квазихрупких материалов на растягивающие и сжимающие напряжения;

*предложен* подход к выявлению предвестников глобальной потери устойчивости нагружаемым телом, как нелинейной динамической системой, на примере моделирования явления прерывистой текучести в сплавах на основе Al;

*впервые численно воспроизведены* пространственно-временные вариации деформационного (сейсмического) процесса в Чуйско-Курайской зоне, находящиеся в хорошем согласии с инструментальными наблюдениями в Чуйско-Курайской зоне.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

*показано*, что эволюционный подход к нагружаемым твердым телам и средам позволяет изучить особенности и механизмы сценариев эволюции, включая критические стадии и на основе этих знаний прогнозировать поведение нагружаемых твердых тел и сред;

*исследованы* особенности и закономерности механического поведения различных твердых сред со сложной внутренней структурой, в том числе особенности неустойчивого развития деформационного процесса и перехода

процесса разрушения к сверхбыстрым закритическим стадиям. В расчетах получены типичные эволюционные сценарии нелинейных динамических систем;

*показано*, что статистический анализ флуктуаций системных параметров позволяет выявлять особенности деформационного процесса в нагружаемых твердых телах, свидетельствующие о приближении к стадии глобальной потери устойчивости. В частности, Фурье-анализ спектра флуктуаций параметров напряженно-деформированного состояния свидетельствует о падении наклона амплитудно-частотных характеристик перед стадией глобальной потери устойчивости;

в приложении к задачам геодинамики разработанные в диссертации модель квазихрупкой среды, а также оригинальные программы для численного решения системы уравнений МДТТ, позволили численно исследовать особенности развития деформационного процесса в Чуйско-Курайской зоне, его локализацию и пространственно-временные вариации моделируемого сейсмического режима.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:** *разработаны и внедрены* модель квазихрупкой среды, оригинальный комплекс программ для численного решения системы уравнений МДТТ при выполнении ряда проектов в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН на 2009-2013 гг., ряда проектов РФФИ, проекта ФЦП, интеграционных проектов СО РАН.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию для оценки долговечности элементов конструкций, напряженно-деформированного состояния конструкционных керамических материалов при различных видах нагружения, напряженно-деформированного состояния горных массивов следующими организациями: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Институт горного дела СО РАН, Институт Земной коры СО РАН, Институт механики сплошных сред УрО РАН, Институт динамики геосфер РАН, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН.

**Оценка достоверности и новизны результатов исследования выявила:**

проведение серии тестовых расчетов; верификацию результатов тестовых расчетов по данным экспериментальных исследований; корректность физической

и математической постановки задачи эволюции напряженно-деформированного состояния нагружаемых геосред и твердых тел; проведение сравнения полученных результатов тестовых расчетов с результатами опубликованных работ в российских и зарубежных журналах, посвященных моделированию неупругого деформирования и разрушения твердых тел и сред.

Все результаты, полученные автором диссертации, **являются новыми.**

**Личный вклад автора** заключается в участии в разработке модели квазихрупкой среды; написании и тестировании пакета программ; проведении расчетов, обработке результатов расчетов; формулировке основных результатов и выводов по работе. Постановка задач и обсуждения результатов проводились совместно с научным руководителем. В статьях, написанных в соавторстве с научным руководителем, автором выполнен полный объем численного эксперимента, а также обработки, в том числе статистической, результатов моделирования.

Диссертация соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда задач неупругого деформирования конструкционных материалов и геоматериалов, а также построения модели квазихрупкой среды для описания процесса разрушения в нагружаемых твердых телах, имеющие значение для развития механики деформируемого твердого тела и геомеханики.

На заседании 27.06.2014 г. диссертационный совет принял решение присудить **Еремину М.О.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
Ученый секретарь  
диссертационного совета



*Иван*  
*Христенко*

Васенин  
Игорь Михайлович  
Христенко  
Юрий Федорович

27 июня 2014 г.