

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.1.055.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ГИДРОДИНАМИКИ ИМ. М. А. ЛАВРЕНТЬЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 09.02.2026 № 1

О присуждении Заболотскому Андрею Васильевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Многоуровневый подход к прогнозу трещинообразования в квазихрупких композиционных материалах в условиях градиента температуры» по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 27 октября 2025 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 24.1.055.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 15, созданным приказом № 1842/нк Минобрнауки России от 26.09.2023 г.

Соискатель Заболотский Андрей Васильевич, 27 февраля 1975 года рождения, работает в должности инженера-технолога Управления Инжиниринга, Проектов и Производства Работ (УИППР) ООО «Группа «Магнезит».

В 2002 г. защитил кандидатскую диссертацию «Сиалоны карботермического азотирования природных алюмосиликатных материалов» с присуждением учёной степени кандидата технических наук по

специальности 05.17.11 Химическая технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в диссертационном совете Д 212.230.07 на базе Санкт-Петербургского государственного технологического института, (диплом КТ № 083062 выдан 2 июля 2002 г.).

Диссертация выполнена в ООО «Группа «Магнезит»; в лаборатории компьютерного моделирования конструирования материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики прочности и материаловедения» Сибирского отделения РАН, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, Дмитриев Андрей Иванович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения» Сибирского отделения РАН, главный научный сотрудник лаборатории физики консолидации порошковых материалов.

Официальные оппоненты:

Стефанов Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности;

Темлянцев Михаил Викторович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ), проректор по реализации стратегического проекта;

Юрков Андрей Львович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», профессор кафедры керамики и огнеупоров дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кузнецовым Денисом Валерьевичем, кандидатом технических наук заведующим кафедрой функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, и утвержденным Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, проректором по науке и инновациям Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, указала, что диссертационная работа Заболотского Андрея Васильевича удовлетворяет пунктам 9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Заболотский Андрей Васильевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискатель имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 36 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 19 работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая 4 – по специальности механика деформируемого твердого тела – 1.1.8, отнесенных к категориям К-1 или К-2 из Перечня рецензируемых научных изданий, 3 – в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI), а также 12 статей в научных

изданиях, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science. Все результаты получены соискателем лично либо при его непосредственном участии. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы:

1. Заболотский А.В., Дмитриев А.И. Численное исследование направления роста трещины в квазихрупком материале в градиентном поле температуры // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2024. № 88. С. 94–110. doi: 10.17223/19988621/88/8
2. Заболотский А.В., Дмитриев А.И. Применение градиентного деформационного критерия для анализа термомеханического разрушения огнеупоров в поле температур // Проблемы прочности и пластичности Т. 86 № 3 (2024): с. 285-298.
3. Заболотский А.В., Дмитриев А.И. Влияние скорости деформации квазихрупких композиционных огнеупорных материалов на характер их разрушения // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2025. № 97. С. 100–115. doi: 10.17223/19988621/97/7
4. Grigoriev, A.S.; Zabolotskiy, A.V.; Shilko, E.V.; Dmitriev, A.I.; Andreev, K. Analysis of the Quasi-Static and Dynamic Fracture of the Silica Refractory Using the Mesoscale Discrete Element Modelling. Materials 2021, 14, 7376.
5. Заболотский А.В. Моделирование теплового поля футеровки сталеразливочного ковша. Инженерно-физический журнал, 2011, т. 84, №2, с. 318 – 323.
6. Заболотский А.В. Моделирование остывания сталеразливочного ковша. Инженерно-физический журнал, 2013, т. 86, №1, с. 191 – 195.
7. Заболотский А.В., Аксельрод Л.М., Дониц Р.А., Поспелова Е.И., Марченко Д.А. Математическое моделирование движения влаги в

- огнеупорных бетонах и торкрет-массах во время сушки. Новые огнеупоры № 12, 2016 с. 6-12.
8. Заболотский А.В., Аксельрод Л.М., Марченко Д.А. Моделирование процесса перемещения влаги в огнеупорном бетоне при сушке с помощью перколяционных структур Новые огнеупоры №. 8, 2018, с. 28 – 35.
 9. Zabolotsky A.V. Thermal crack growth modeling in refractory linings of metallurgical installations. Int. J. of mathematical models and methods in applied sciences. 2011, v. 5, № 3, p 542 – 549.
 10. Григорьев А.С., Данильченко С.В., Дмитриев А.И., Заболотский А.В., Мигашкин А.О., Турчин М.Ю., Хадыев В.Т., Шилько Е.В. Компьютерное моделирование влияния вспомогательных слоев футеровки сталеразливочного ковша на локализацию и направление роста термических трещин. Новые огнеупоры, № 10 (2022), стр. 3 – 15.
 11. Zabolotskii , A., Khadyev, V., Dmitriev, A., & Shilko, E. (2022). A multilevel model for description of thermomechanical fracture of refractory linings of high-temperature equipment. Reports in Mechanical Engineering, 3(1), 237-245.
 12. Григорьев А.С., Данильченко С.В., Заболотский А.В., Мигашкин А.О., Турчин М.Ю., Хадыев В.Т. Особенности разрушения футеровок в оборудовании разного размера. Новые огнеупоры, № 12 (2022), с. 3 – 11.
 13. Заболотский А. В., Мигашкин А. О., Григорьев А. С., Дмитриев А. И., Турчин М. Ю., Хадыев В. Т., Шилько Е. В. Моделирование зарождения трещин в материалах с регулярно расположенными сферическими порами в условиях многоосного нагружения Новые огнеупоры, № 3 2023, стр. 13 – 20.
 14. Buyakov A., Shmakov V., Zabolotsky A., Chumakov Y., Shilko E., Refractory ceramics based on magnesium–aluminate spinel and periclase of the Satka deposit, Materials Chemistry and Physics, V. 313, 2024,
 15. Мигашкин А.О., Кащеев И.Д., Заболотский А.В., Ковалев Е.В., Парфентьев В.Ф. Влияние добавки на основе алюминатов кальция на

стойкость периклазоуглеродистых огнеупоров в сталеразливочных ковшах для медеплавильной промышленности. // Новые огнеупоры №3 2024, с. 4-8

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов:

1. От кандидата технических наук доцента Земляного Кирилла Геннадьевича, заведующего кафедрой Химической технологии керамики и огнеупоров ИНМТ ФГАОУ ВО Уральский Федеральный университет и доктора технических наук Кашеева Ивана Дмитриевича профессора кафедры Химической технологии керамики и огнеупоров ИНМТ ФГАОУ ВО Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург;
2. От кандидата технических наук Аксельрода Льва Моисеевича, эксперта по огнеупорам дирекции по разработке новых технологий процесса ПАО «НЛМК» и кандидата технических наук Ковалева Дениса Анатольевича директора по разработке новых технологий процесса ПАО «НЛМК», г. Липецк;
3. От доктора технических наук, профессора Брагова Анатолия Михайловича главного научного сотрудника Научно-исследовательского института механики, Лаборатория механических испытаний материалов ННГУ им. Н.И. Лобачевского и доктора физико-математических наук, доцента Константинова Александра Юрьевича ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института механики, Лаборатория механических испытаний материалов ННГУ им. Н.И. Лобачевского, профессора кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики Института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;
4. От кандидата технических наук Сарычева Бориса Александровича, главного специалиста по сталеплавильным процессам НТЦ ПАО «ММК», г. Магнитогорск;

5. От доктора технических наук, профессора Пантелеева Игоря Борисовича заведующего кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) и доктора технических наук доцента Вихмана Сергея Валерьевича профессора кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург;
6. От доктора технических наук, профессора Горленко Николая Петровича профессора кафедры физики, химии и теоретической механики Института цифровых технологий и естественных наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «ТГАСУ»), г. Томск;
7. От кандидата технических наук Ворониной Ольги Борисовны, ведущего эксперта по огнеупорам ЦТР дирекции по ремонтам АО «Северсталь Менеджиент», г. Москва.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность диссертационного исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Отзывы содержат следующие замечания:

1. Автором предполагается, что разгрузка напряжённо-деформированного состояния (НДС) композиционного материала происходит за счёт образования либо дефектов структуры, либо новой поверхности (трещин). Но, как известно, эта энергия может также расходоваться и на паразитарные излучения (например, звук), и на нагрев системы. Как Автор оценивает долю энергии, запасённой НДС, расходуемой не на образование или рост трещины и учитывал ли в анализе процесса разрушения эффекты от нагрева области вокруг конденсатора напряжений при разгрузке НДС?

2. Во второй главе, для оценки возникающих напряжений в условиях температура ниже температуры появления пиропластичного состояния в системе, автором использована упрощенная запись закона Гука (формула 2). Почему предложено не учитывать упругие деформации, которые даже для абсолютно хрупких тел могут достигать 1 %, а для квазихрупких – и более, особенно с учётом возможных эффектов предплавления при высоких напряжениях?

3. В тексте автореферата есть некоторое количество пунктуационных ошибок. Также следует отметить, что в Российской Федерации нормативно установлено использование в качестве десятичного разделительного знака в числах только запятой (ГОСТ 8.417-2002; ГОСТ 1.5-2001; ГОСТ Р 2.105-2019).

4. В автореферате недостаточно раскрыта процедура многоуровневого моделирования, нет примеров расчета на представительных ячейках ККМ, содержащих структуру неоднородного материала.

5. Учитываются ли в модели ККМ другие механизмы разрушения кроме отрыва (раздавливание, сдвиг)?

6. Спорным представляется утверждение на стр.3, что «поры в основном образуются на стадии формования (прессования) материала, а микротрещины при его термической обработке».

7. Непонятно, как величина dU^e может быть получена интегрированием уравнения (5).

8. По-видимому, является опечаткой обозначение скорости изменения упругих деформаций в мм^{-1} в заголовке таблицы 1.

9. Из автореферата не совсем ясна цель упрощения выражения Дюамеля-Неймана (стр. 14).

10. В тексте (стр. 22) недостаточно раскрыта причина образования вторичных трещин, показанных синими стрелками на рисунке 6.

11. На рисунке 9 плохо читаются числа на маркерах, что затрудняет анализ процесса развития упругих деформаций при резком нагреве рабочей грани огнеупора.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается авторитетностью и компетентностью официальных оппонентов, и широкой известностью достижений ведущей организации в области наук, по которой выполнена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан оригинальный многоуровневый подход к прогнозированию ресурса ККМ при трещинообразовании под действием механических и термомеханических нагрузок с использованием статических (квазистатических) расчетов компонентов НДС, основанный на различиях в характере разрушения композиционного материала в целом и его индивидуальных составляющих. Разработанный подход позволяет свести задачу прогнозирования ресурса конструкций к выявлению области предполагаемого разрушения, определения НДС в ней и моделированию трещинообразования в представительном объеме материала под действием вычисленных нагрузок.
2. Для огнеупоров впервые определены границы температурных интервалов хрупкого разрушения и пластической деформации на основании результатов стандартных лабораторных испытаний (ГОСТ 4070-2000 – определение температуры начала деформации под нагрузкой). Для выявленных областей применяются различные модели разрушения материала.
3. Сформулирован новый градиентный деформационный критерий разрушения для композиционного материала, позволяющий при помощи анализа статических или квазистатических полей упругих деформаций одновременно фиксировать момент времени начала роста трещины в материале, ее локализацию, направление распространения и приращение размера за цикл приложения нагрузки.
4. Разработана модель ККМ, позволяющая определять в том числе геометрические параметры концентраторов напряжений в однородной матрице на основании зернового состава шихты материала и условий его

термообработки. Модель учитывает зависимость свойств материала от температуры.

5. Предложена модель разрушения ККМ, позволяющая численно исследовать динамику роста трещин в квазихрупком огнеупорном материале и объясняющая влияние скорости приложения нагрузки на характер разрушения ККМ. Определены критические значения скорости нагружения, при которых меняется траектория роста трещин и характер разрушения.

6. На основе авторского алгоритма выполнено численное моделирование полей напряжений и деформаций в окрестности вершины трещины вблизи границы раздела фаз для прогнозирования ее дальнейшего роста.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Особенности характера разрушения ККМ на разных размерных уровнях позволяют предложить упрощенную модель трещинообразования, пригодную для построения прогнозов разрушения материала и объяснения, проявляемых им квазихрупких свойств.

2. Предложенный способ анализа высокотемпературного поведения материалов при механическом воздействии позволяет определять границы применимости моделей хрупкого разрушения и пластических деформаций сред в градиентных температурных полях.

3. Введённый градиентный деформационный критерий для определения точки, момента времени начала трещинообразования, направления роста и приращения размера трещин при использовании его на разных размерных уровнях с соответствующими элементами структуры объясняет известный характер роста трещин в композиционных материалах.

4. Разработана модель роста трещины в ККМ на границе раздела фаз, которая позволяет объяснить известные факты о зависимости длины траектории трещины или преимущественно разрушающейся фазы (армирующих зерен или связующей матрицы) от условий и особенностей приложения внешней нагрузки.

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

1. Использование предложенного подхода позволяет анализировать конструкторские решения путем моделирования механического разрушения материалов в известном поле внешних воздействий.
2. При проектировании новых материалов или их выборе для изменившихся условий эксплуатации, предложенный многоуровневый подход позволяет ограничить пространство решений на стадии подготовки технических заданий путем формулирования требований к материалам на основе анализа поведения их структурной модели в заданных условиях.
3. Учёт хрупких свойств материалов на уровне структуры позволяет при использовании многоуровневого подхода прогнозировать динамику разрушения конструкций по результатам анализа статических и квазистатических расчетов полей напряжений и деформаций.
4. Результаты работы были использованы при расследовании аварийных ситуаций на производстве, связанных с преждевременным выходом из строя частей оборудования, выполненных из ККМ: огнеупорных футеровок и конструктивных элементов, выполненных из чугуна.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач с использованием современных взаимодополняющих экспериментальных методов исследования на сертифицированном структурно-аналитическом и испытательном оборудовании; согласованием результатов, полученных различными методами; сопоставимостью их с данными других авторов; обобщением результатов на основе современных представлений механики деформируемого твердого тела.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты работы получены автором либо лично, либо в рамках коллективной работы при его активном участии. Планирование и разработку методики экспериментальных исследований и вычислительных экспериментов автор выполнил самостоятельно. Основные положения и выводы сформулированы автором лично.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела», участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Шутов Алексей Валерьевич

Бойко Светлана Владимировна

12