

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Балданов Алдар Батомункуевич

Тема диссертации: «Экспериментально-численное исследование деформирования и разрушения многослойных композиционных материалов при локальном ударе»

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 14 января 2026 года, протокол 18, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Балданова Алдара Батомункуевича является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Балданова Алдара Батомункуевича отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 14 января 2026 года, протокол 18, диссертационный совет принял решение присудить Балданову Алдару Батомункуевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Земсков А.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Булычев Н.А., Вестяк В.А., Дмитриев В.Г., Меркурьев И.В., Миронова Л.И., Рабинский Л.Н., Федотенков Г.В.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент

Сердюк Д.О.

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



Иванов А.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «14» января 2026 г. № 18

О присуждении Балданову Алдару Батомункуевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментально-численное исследование деформирования и разрушения многослойных композиционных материалов при локальном ударе» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «20» октября 2025 г., протокол № 17, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Балданов Алдар Батомункуевич, 18 июня 1990 года рождения. В 2012 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет

технологий и управления» по специальности «Информационные системы и технологии», специализация «Информационные системы и технологии в строительстве». Диплом инженера с отличием, серия ОК № 44880, дата выдачи 28.06.2012.

С октября 2012 по октябрь 2016 года обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Справки о сдаче кандидатских экзаменов № 000233 и № 000234 выданы «11» марта 2025 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления».

В настоящее время работает на кафедре «Информационные технологии и прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» в должности старшего преподавателя.

Диссертация «Экспериментально-численное исследование деформирования и разрушения многослойных композиционных материалов при локальном ударе» выполнена на кафедре «Информационные технологии и прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления».

Научный руководитель – **Бохоева Любовь Александровна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления».

Официальные оппоненты:

Матвиенко Юрий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Прочность, живучесть и безопасность машин» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук»,

Хомченко Антон Васильевич, кандидат технических наук, до 1 ноября 2025 года – ведущий инженер-конструктор отдела динамической прочности ООО «АУРУС-АЭРО», с 1 ноября 2025 года – начальник отдела нагрузок и аэроупругости управления прочности инженерного центра ООО «АУРУС-АЭРО»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», доктором технических наук, доцентом **Поддубным Владимиром Ивановичем**, утвержденным ректором, доктором технических наук, профессором **Марковым Андреем Михайловичем** указала, что диссертационная работа Балданова Алдара Батомункуевича является законченной научно-квалификационной работой. Работа выполнена на высоком научном уровне, ее результаты обладают новизной и научно-технической значимостью. Содержание диссертации и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела». Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 16.10.2024) «О порядке присуждения ученых степеней», а его автор, Балданов Алдар Батомункуевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени

кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Основные положения диссертационного исследования соискателя достаточно полно отражены в 35 научных работах, из них 5 индексируются базами данных Scopus/WOS, 7 статей - в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки России (из них 4 по специальности 1.1.8.), 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 патент на полезную модель, остальные 20 – в прочих публикациях. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Бохоева Л. А. Влияние добавления нанопорошков на прочность многослойных композитных материалов / Л. А. Бохоева, **А. Б. Балданов**, А. С. Чермошенцева [и др.]// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. –2021. Т.87, № 8. С. 42-50 . URL: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-8-42-50>. **(ВАК)**

Личный вклад автора заключается в проведении компьютерного моделирования процессов соударения и пробивания образцов из композиционных материалов с использованием программного продукта ANSYS/LS-DYNA, а также в проведении натурных экспериментов.

2. Бохоева Л. А. Математическое моделирование потери устойчивости локальных расслоений, полученных в результате скоростного удара / Л. А. Бохоева, **А. Б. Балданов**, В. Е. Рогов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. № 12(132). С. 1–14. **(ВАК)**

Личный вклад автора заключается в разработке методов численного моделирования и расчета элементов конструкций из слоистых композиционных материалов с допустимыми дефектами типа расслоений с использованием системы ANSYS Mechanical для решения задач закритического поведения композитных пластин. Представлены аналитические выражения для величин, характеризующих критическую

нагрузку потери устойчивости расслоения и описывающих нелинейное деформирование расслоения, которое образуется в результате удара.

В этих и остальных работах исследуются результаты численно-экспериментального исследования поведения при ударном нагружении пластин из композиционных материалов, а также влияние углов укладки на прочность композиционных материалов. Разработаны и реализованы алгоритмы решения задач. В материалах совместных публикаций личный вклад автора является определяющим.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные,

от **Воронова Сергея Александровича**, доктора технических наук, профессора кафедры РК-5 «Прикладная механика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», отзыв положительный;

от **Чернякина Сергея Алексеевича**, кандидата технических наук, доцента кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», отзыв положительный;

от **Бурнышевой Татьяны Витальевны**, доктора технических наук, доцента, заведующий кафедрой «Прочность летательных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный университет», отзыв положительный;

от **Митрофанова Олега Владимировича**, доктора технических наук, доцента, заместителя начальника НИО прочности – заместителя главного конструктора по прочности Публичного акционерного общества «Яковлев» филиала «Региональные самолеты», отзыв положительный;

от **Гринчука Павла Семёновича**, доктора физико-математических наук, член-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, заведующего отделением теплофизики государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси, отзыв положительный.

от **Казанцевой Натальи Васильевны**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории «Аддитивных технологий» федерального государственного учреждения Института физики металлов им. М. Н. Михеева, Уральского отделения Российской Академии наук, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам; отмечены: новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации **федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»** имеются следующие вопросы и замечания:

1. Цель исследования: «Моделирование процессов деформирования, повреждения, разрушения тонкостенных элементов конструкций из слоистых КМ при ударном нагружении с использованием разработанных численных и экспериментальных методик» скорее является средством достижения цели, чем собственно целью работы.

2. Непонятно, почему выбраны пластины из 5, 10 и 20 слоев? Чем обоснован такой выбор: - ограничением по толщине пластины или прочностными свойствами?

3. Кривые зависимости скорости ударника от времени (рисунок 2.35), построенные по результатам численного моделирования для 5-ти, 10-ти, 15-ти и 20-ти слоев, имеют существенные отличия, особенно отличается кривая для 10-ти слоев — нет второй «ступеньки» как для 15-ти и 20-ти слоев. Чем это вызвано, не объясняется.

4. На рисунке 2.40 области повреждений при эксперименте и численном моделировании имеют явно разную форму. У экспериментального образца явно видно разрушение волокон в обе стороны в месте пробития. В численном расчете этого нет. Чем это можно объяснить?

5. В выводе пятой главы при перечислении проведенных методов неразрушающего контроля композиционных материалов, написан «метод активной термографии», который не использовался. Имеются стилистические и орфографические ошибки. В четвертой главе на рисунке 4.8 - 4.9 в модуле упругости материала E не объяснено, в каком направлении данное значение.

6. В работе представлены результаты численного расчета стеклопластика и углепластика, однако не даны их прочностные характеристики, которые были использованы в численном расчете.

7. В третьей главе при описании генетического алгоритма оптимизации отсутствуют конкретные параметры и критерии работы.

8. В четвертой главе рекомендуется добавить, что рассматриваемая задача устойчивости пластины с расслоением подходит для случаев, в которых нет сквозного пробития.

9. Также следовало бы более тщательно отредактировать текст изложения, например, диссертационная работа избыточна изображениями результатов численного расчета (как, например, в гл. 2.2).

Замечания в отзыве официального оппонента Матвиенко Ю. Г.

1. В тексте диссертационной работе отсутствует нумерация формул, что затрудняет понимание и логику вывода и использования формул в последующих расчетах.

2. Влияют ли условия закрепления пластин (пластина закреплена или свободно оперта) многослойных КМ на динамические процессы их деформирования, повреждения и разрушения? Если да, как будут влиять условия закрепления пластин на полученные результаты исследований?

3. Эксперименты и численное моделирование проведены на пластинах небольших размеров. Скажется ли эффект масштабного фактора при прогнозировании деформирования, повреждения и разрушения многослойных композиционных материалов в условиях воздействия ударных нагрузок?

4. Все результаты получены при воздействии ударных нагрузок перпендикулярно плоскости пластины. Значительный интерес представили бы результаты исследования динамических процессов деформирования, повреждения и разрушения исследованных композиционных материалов при воздействии ударных нагрузок под углом к плоскости пластины.

5. В разделе 4.4 диссертационной работы отмечено, что «для разрушающей нагрузки области образования и расслоений требуется определить обобщенные силы, продвигающие отслоения G_a , G_b ». Однако иллюстрация использования этих формул отсутствует.

6. На рис. 4.10 приведены «характерные особенности роста дефектов при сжатии» пластины. Автору следовало бы более подробно прокомментировать получение этих результатов.

7. Не является очевидной и интерпретация самих результатов, представленных на рис. 4.10. Не совсем понятны физические причины перехода дефекта от неустойчивого роста к остановке и последующим устойчивым ростом.

8. На с. 145 диссертационной работы отмечена разработка методики численного моделирования элементов конструкций КМ с допустимыми дефектами типа расслоений в системе ANSYS. Вместе с тем ничего не сказано о критериях допустимости дефектов.

Замечания в отзыве официального оппонента Хомченко А. В.

1. Не обозначены ограничения разработанных численных моделей и границы применимости.

2. Изготовление образцов из композиционных материалов контактным формованием может приводить к неравномерному распределению связующего на поверхностях слоев. Необходимо уточнить, как проводился контроль образцов.

3. В работе отсутствует развернутое теоретическое и методическое обоснование выбора именно 5-, 10- и 20-слойных пластин для экспериментальных исследований.

4. Формы ударника пуль 1, 2, 3 в целом отличаются по углу острия, массе. Считаю некорректным сравнивать их в единой картине.

В отзывах на автореферат имеются такие замечания:

1. Не указаны условия хранения образцов и влияние старения материала на результаты испытаний, что может быть важно для практического применения.

2. В главе 4 предложено решение для осесимметричных расслоений эллиптической формы. Однако не сказано, чем обоснован выбор такой формы.

3. Не описана методика закрепления образцов при испытаниях. От условий закрепления существенно зависят результаты.

4. В автореферате не указано, моделировался ли ударник как деформируемое тело или как абсолютно жесткое тело.

5. Следует уточнить, какими типами конечных элементов моделировались слои (объемные, оболочечные и др.).

6. Не ясен вклад автора в разработку процедуры и метода оптимизации укладки многослойной композитной пластины, в частности, был ли использован стандартный инструментарий программного продукта ANSYS или самостоятельно разработанные программы-макросы.

7. Автором не проведена сравнительная оценка прочностных и жесткостных характеристик многослойной пластины до и после оптимизации.

8. Автореферат перегружен техническими деталями, в то время как некоторые принципиальные положения изложены недостаточно полно. Например, подробно описаны параметры высокоскоростной камеры (150 тыс. кадров/с), но не раскрыты критерии выбора этой частоты съемки.

9. Не проведены дальнейшие испытания образцов с ударными повреждениями на остаточную прочность при сжатии, хотя это упоминается как важный критерий.

10. В работе не обсуждаются вопросы влияния направления удара и другие нагружения на условия расслоения КМ.

11. Не указано, учитывались ли в численных моделях возможные температурные эффекты, возникающие при высокоскоростной деформации полимерной матрицы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области конструкций из современных полимерных композиционных материалов. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан алгоритм виртуальных испытаний пластин из многослойных композиционных материалов при взаимодействии с высокоскоростными ударниками на основе численного моделирования и экспериментального исследования;

предложен усовершенствованный метод к нелинейному расчету критических и разрушающих сил для слоистых композиционных материалов с дефектами типа расслоений, образованными после удара;

доказано, что при оптимальном армировании скорость пробития уменьшается за счет увеличения площади межслойных дефектов в материале. Обоснована перспективность идей, изложенных в диссертации, применительно к решению задач механики деформируемого твердого тела.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана правомерность и обоснованность разработанного метода к нелинейному расчету критических и разрушающих сил для слоистых композиционных материалов с дефектами типа расслоений, образованными после удара;

применительно к проблематике диссертации эффективно **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, механики композиционных материалов, метод конечных элементов, аналитические и численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений;

изложена и теоретически обоснована комплексная схема виртуальных испытаний, формирующая основу для прогнозирования повреждений многослойных композиционных материалов при ударных нагрузках;

раскрыты аналитические зависимости для определения критических нагрузок и описания нелинейного деформирования тонкостенных расслоений

с использованием правил смесей и уравнений теории устойчивости пластин, дополненные численными расчетами;

изучены и систематизированы закономерности формирования и развития различных типов повреждений в зависимости от скорости удара, схемы армирования и толщины пакета;

проведена модернизация расчётно-экспериментального подхода к оценке остаточной прочности элементов с дефектами за счёт разработки комбинированной методики, сочетающей аналитические решения теории устойчивости, метод конечных элементов и методы неразрушающего контроля.

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

разработана и внедрена на предприятиях авиационного профиля алгоритм виртуальных испытаний, позволяющая с высокой точностью прогнозировать ударную стойкость без проведения дорогостоящих натуральных экспериментов;

определена перспектива использования автоматизированной процедуры выбора углов армирования для тонкостенных элементов (пластин, обшивки крыла БПЛА), обеспечивающая снижение скорости пробития ударником и повышение энергопоглощения за счёт управляемого формирования зон расслоения;

создан усовершенствованный метод определения критических нагрузок и описания нелинейного деформирования тонкостенных расслоений с использованием правил смесей и уравнений теории устойчивости пластин, дополненной численными расчетами;

представлена практически подтвержденная возможность снижения массы деталей без потери несущей способности за счет послойной оптимизации армирования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики деформируемого твердого тела, механики композиционных материалов. Использованные методы решения задач математически строги и непротиворечивы, приведено сравнение полученных автором результатов с натурным экспериментом;

идея базируется на известных и обоснованных методах механики деформируемого твердого тела, механики композиционных материалов, комплексном сочетании численного моделирования (метод конечных элементов в ANSYS/LS-DYNA) с натурным экспериментом, включая высокоскоростную видеосъемку;

использованы апробированные и общепризнанные программные комплексы для решения нелинейных динамических задач (ANSYS/LS-DYNA), а также стандартизированные методики изготовления образцов и проведения испытаний, соответствующие отраслевым нормам;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, полученными на основе экспериментальных данных;

использованы современные методы математического моделирования, численные алгоритмы решения задач, компьютерные методы визуализации полученных результатов, программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS/LS-DYNA.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причём вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором и при его непосредственном участии. Проведен цикл испытаний 5-, 10- и 20-слойных пластин из композиционных материалов с различной ориентацией укладки армирующих слоев при низко- и

высокоскоростном ударе, и получены новые опытные данные. Разработан алгоритм виртуальных испытаний пластин из многослойных композиционных материалов при взаимодействии с высокоскоростными ударниками на основе численного моделирования и экспериментального исследования. Проведены исследования оптимального армирования многослойных композиционных материалов для снижения скорости пробития пластины ударником. Скорость пробития уменьшается за счет увеличения площади межслойных дефектов в материале. Предложенный подход продемонстрирован на конкретных примерах проектирования пластин. Решена задача нелинейного расчета критических и разрушающих сил для слоистых композиционных материалов с дефектами типа расслоений, образованными после удара. Определены жесткостные характеристики многослойных композиционных материалов по известным характеристикам армирующих элементов и связующего. Сделана комплексная оценка площади, размеров и глубины залегания расслоений после ударной нагрузки ультразвуковой дефектоскопией, численным моделированием.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней».

На заседании «14» января 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Балданову Алдару Батомункуевичу ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи об экспериментально-численном исследовании деформирования и разрушения многослойных композиционных материалов при локальном ударе. Данная научная задача имеет большое теоретическое и практическое значение для развития современной механики деформируемого твердого тела и

проведения более точных расчетов для элементов конструкций из композиционных материалов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 4 доктора технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 10, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д. В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент

Сердюк Д. О.

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



Иванов А. В.

«14» января 2026 года