

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.13

Соискатель: Терещенко Татьяна Сергеевна

Тема диссертации: Исследование динамического поведения конструктивных элементов, изготовленных методом послойного лазерного плавления

Специальность: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 19 сентября 2025 года, протокол № 3, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Терещенко Татьяны Сергеевны является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Терещенко Татьяны Сергеевны отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями). На заседании 19 сентября 2025 года, протокол № 3, диссертационный совет принял решение присудить Терещенко Татьяне Сергеевне ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Рабинский Л.Н., заместитель председателя диссертационного совета Федотенков Г.В., ученый секретарь диссертационного совета Орехов А.А.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Белов П.А., Бирюков В.И., Гавва Л.М., Данилин А.Н., Кондратенко Л.А., Лурье С.А., Миронова Л.И., Хейло С.В.

Проректор по научной работе, д.т.н.

А.В. Иванов

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.13,
д.ф.-м.н.

Г.В. Федотенков

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.13,
к.т.н.

А.А. Орехов

«19» 09 2025 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.13,
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 19 сентября 2025 г. № 3

О присуждении Терещенко Татьяне Сергеевне ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование динамического поведения конструктивных элементов, изготовленных методом послойного лазерного плавления» по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин принята к защите 25 июня 2025 г., протокол заседания № 2 диссертационным советом 24.2.327.13 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.13 – № 1503/нк от «12» июля 2023 г.

Соискатель, Терещенко Татьяна Сергеевна, 08 мая 1990 года рождения, в 2013 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» с присуждением квалификации «инженер» по специальности «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах», номер ОК 18848, выдан 01 марта 2013 г. В период подготовки диссертации соискатель, Терещенко Татьяна Сергеевна, работала начальником Управления инноваций, стратегии и коммуникаций, специалистом научно-исследовательского отделения Института «Авиационная техника», заместителем директора Дирекции программы развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, с 2024 года проходит обучение в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» Института общинженерной подготовки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, **Рабинский Лев Наумович**, заведующий кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», профессор кафедры «Сопротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Митряйкин Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Машиноведения и инженерной графики» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ КАИ), г. Казань;

Хомченко Антон Васильевич, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор отдела динамической прочности общества с ограниченной ответственностью «АУРУС-АЭРО», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»**, г. Саратов, в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором **Поповым Виктором Сергеевичем**, профессором кафедры «Прикладная математика и системный анализ» и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором, и.о. проректора по науке и инновациям **Землянухиным Александром Исаевичем**, указала, что диссертационная работа Терещенко Татьяны Сергеевны «Исследование динамического поведения конструктивных элементов, изготовленных методом послойного лазерного плавления» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, а именно пунктам 9-14

Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями). Полученные в диссертации результаты представляют решение научной задачи по изучению влияния нестационарных тепловых процессов на механическое поведение элементов конструкций, формирующихся методом трехмерной печати, и имеющей существенное значение для развития исследований динамики машин и конструкций. Основное содержание диссертации соответствует пунктам 13, 14, 15 паспорта научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин. Соискатель Терещенко Татьяна Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Соискатель имеет 9 опубликованных научных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ опубликовано 2 работы.

Ниже указаны наиболее значимые работы по теме диссертации.

Статьи в рецензируемых научных изданиях и журналах из перечня ВАК РФ:

1. Т.С. Терещенко. Динамический нагрев полуплоскости подвижным источником лазерного излучения с учётом теплоотдачи на поверхности. Труды МАИ. 2024. № 139. EDN BXRWVH. (Категория K1).

2. Т.С. Терещенко, А.А. Орехов, Л.Н. Рабинский. Исследование статических и динамических физико-механических характеристик стали, изготовленной методом послойного лазерного спекания. Труды МАИ. 2025. № 140. EDN SHCSDM. (Категория K1).

Статья, опубликованная в издании, индексируемом в базе данных SCOPUS:

3. L. N. Rabinskiy, A. A. Orekhov, T. S. Tereshchenko. Stress–Strain State of a Half-Space Induced by a Mobile Laser Source. Russian Engineering Research. 2024. Vol. 44, No. 5. P. 717-720. DOI 10.3103/s1068798x2470093x. EDN XWSDBU.

В представленных работах приведено описание результатов проведенных исследований. В работах [1,3] представлена математическая модель, реализация которой определяет напряженно-деформированное состояние полуплоскости в процессе высокоинтенсивного лазерного нагрева. С использованием интегральных преобразований Фурье по пространственным координатам и Лапласа по времени построены фундаментальные решения уравнений классической и обобщённых моделей теплопроводности, Грина-Нагди II типа. Представлены и проанализированы графические результаты. Показаны отличия

рассмотренных моделей теплопроводности и даны рекомендации по их применению в практических расчётах. В работе [2] представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств образцов из нержавеющей стали, созданных методом послойного лазерного синтеза. Данный метод, являясь одним из ключевых подходов в области аддитивных технологий, позволяет получать изделия со сложной геометрией, однако микроструктурные особенности таких материалов могут значительно отличаться от традиционно изготовленных металлических сплавов. В ходе работы были проведены детальные исследования механических свойств полученных образцов, включающие как статические, так и динамические испытания.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от **научного руководителя, ведущей организации, официальных оппонентов и другие отзывы**, отзывы положительные:

от **научного руководителя – Рабинского Льва Наумовича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», профессора кафедры «Сопротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», отзыв положительный;

от **ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»**, г. Саратов, отзыв положительный;

от официального оппонента – **Митряйкина Виктора Ивановича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Машиноведения и инженерной графики» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ КАИ), г. Казань, отзыв положительный;

от официального оппонента – **Хомченко Антона Васильевича**, кандидата технических наук, ведущего инженера-конструктора отдела динамической прочности общества с ограниченной ответственностью «АУРУС-АЭРО», г. Москва, отзыв положительный;

от Украинского Леонида Ефимовича, доктора технических наук, профессора, член-корреспондента РАН, заместителя директора по научной работе Филиала ИМАШ РАН «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН», отзыв положительный;

от Медведского Александра Леонидовича, доктора физико-математических наук, доцента, профессора РАН, первого заместителя генерального директора ФАУ «ЦАГИ», отзыв положительный.

от Склезнева Андрея Анатольевича, доктора технических наук, доцента, директора, главного конструктора акционерного общества «Центр перспективных разработок», отзыв положительный.

от Горбатюка Сергея Михайловича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры ИТО Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», отзыв положительный.

от Хазова Павла Алексеевича, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Теория сооружений и техническая механика», заведующего лабораторией «Непрерывный контроль технического состояния зданий и сооружений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечена научная новизна и достоверность полученных автором результатов, а также их теоретическая и практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве **ведущей организации** – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» – имеются следующие **замечания**:

1. В диссертации рассмотрены три типа моделей теплопроводности (Фурье, Грина-Нагди II типа, Максвелла-Каттанео). Однако отсутствует количественный анализ различий в прогнозах температурных полей и напряжений при использовании каждой из моделей. Более детальное сопоставление результатов позволило бы глубже оценить область применимости соответствующих моделей к задачам лазерной обработки.

2. В работе приведены данные механических и тепловых испытаний, однако валидация результатов конечно-элементного моделирования напряжений представлена ограниченно. Для повышения достоверности численных оценок целесообразно было бы включить сравнение с независимыми экспериментальными данными по остаточным напряжениям, полученными методами механических или физико-химических измерений.

3. Хотя в работе исследуются образцы, изготовленные методом послойного лазерного плавления, влияние конкретных параметров процесса (энергетическая плотность, скорость сканирования, форма траектории) на формирование микроструктуры и, соответственно, на прочностные характеристики, рассмотрено частично. Это снижает применимость выводов к задачам оптимизации режимов печати.

4. Феномен анизотропии и направленной пористости в изделиях, полученных методом SLM, известен и отмечен автором, однако не подвергнут количественному анализу. Включение этой составляющей в постановку задач и численные расчёты позволило бы повысить точность прогноза поведения конструкций при эксплуатационных нагрузках.

5. В работе анализируется динамическая прочность при кратковременных воздействиях, но не рассматриваются циклические тепломеханические нагружения, характерные для реальных условий эксплуатации. Отсутствие оценки накопления повреждений при термоциклировании ограничивает полноту анализа надёжности.

6. Постановка задач в главах 3 и 4 базируется на ряде упрощений (например, полуплоскость, симметричное нагружение), однако в тексте недостаточно аргументов в пользу выбора именно таких условий как репрезентативных для реального процесса селективного лазерного плавления.

7. В работе отсутствует обсуждение возможности калибровки численных моделей на основе экспериментальных данных, например, с использованием методов обратных задач или оптимизационной подгонки параметров. Это могло бы существенно повысить точность численного прогноза термоупругих процессов.

8. В ряде мест (введение, главы 1 и 2) встречаются повторяющиеся формулировки и перегруженные предложения.

Замечания в отзыве официального оппонента Митряйкина В.И.

1. Почему в работе не использовалась теория связанной термоупругости?

2. Почему при исследовании напряженно-деформированного состояния упругой полуплоскости использовались гиперболические модели теплопроводности, в частности модель Максвелла-Каттанео?

3. В диссертации присутствует незначительное количество орфографических опечаток.

4. В тексте диссертации, в главе три, рисунки 3.8 и 3.9 пропущены, в связи с чем есть путаница в тексте на стр. 76, где ссылки на эти рисунки присутствуют.

5. В автореферате стр. 23, диаграммы не очень хорошо видны.

Замечания в отзыве **официального оппонента Хомченко А.В.**

1. Каковы теоретические основания и физические предпосылки для применения плоской постановки при математическом моделировании динамики процесса селективного лазерного плавления?

2. В рамках выбранной математической модели использование несвязанного приближения термоупругости представляется недостаточно обоснованным и может привести к существенной погрешности в описании напряженно-деформированного состояния.

3. В тексте диссертации (глава 3) отсутствуют рисунки 3.8 и 3.9, что создаёт затруднения при восприятии материала на странице 76, где содержатся прямые ссылки на указанные иллюстрации.

4. На графиках, представленных на рис. 3. 12, отсутствует подпись к ординате, что затрудняет их чтение.

5. В главе 2 не дано объяснения выбора скорости проведения испытаний, выбора расстояния между опорами при испытаниях на изгиб.

6. В таблице 2.2 представлены результаты испытаний только на растяжение, что усложняет анализ изменения свойств материала в зависимости от вида нагружения.

7. В работе не указано как именно проводилась проверка сходимости решения при конечно-элементном моделировании. Варьировались ли параметры и плотность сетки?

В отзывах на автореферат следует отметить следующие замечания:

1. В работе не упоминается проводилось ли исследование порошка, используемого для получения образцов по технологии послойного лазерного плавления.

2. При использовании разработанной математической модели теплового воздействия подвижного лазерного источника на изотропную полуплоскость не аргументировано использование упругих потенциалов для решения поставленной задачи.

3. Желательно более подробно осветить методику проведения усталостных испытаний, включая параметры нагружения и критерии разрушения.

4. Недостаточно подробно раскрыта связь проведенных экспериментальных исследований и дальнейших аналитических расчетов и численного моделирования.

5. Недостаточно детально обоснован выбор проведения расчетов с использованием функции Грина по сравнению с другими методами.

6. На рисунках 3.6 – 3.11 показаны распределения поля температур, представленные функцией $T(Q, x, z, \tau)$, однако в тексте работы нет упоминания об аргументе Q .

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области и имеют публикации, связанные с направлением исследований диссертации, а ведущая организация известна своими научными достижениями в соответствующей сфере исследования, что подтверждается актуальными публикациями ее сотрудников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель для идентификации термонапряженного состояния упругой полуплоскости при воздействии высокоинтенсивного теплового источника;

предложен метод конечно-элементного моделирования технологических температурных напряжений, возникающих в процессе производства изделий методом селективного лазерного плавления;

доказана перспективность использования разработанных методов и подходов для расчета термонапряженного состояния полуплоскости, возникающего в процессе изготовления деталей методом аддитивных технологий, в частности, методом селективного лазерного плавления;

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана правомерность и обоснованность предложенной математической модели для описания нестационарной задачи о термонапряженном состоянии упругой полуплоскости при высокоинтенсивном лазерном нагреве;

Применительно к проблематике диссертации результативно **использован** метод функций влияния и принцип суперпозиции;

изложены аналитические и численные методы решения задачи динамической термоупругости при нагреве полуплоскости высокоинтенсивным источником тепла;

раскрыто влияние параметров трехмерной печати на статические и динамические характеристики образцов, изготавливаемых методом селективного лазерного плавления;

изучены характер распределения температурных градиентов, а также их влияние на величину температурных напряжений в процессе высокоинтенсивного нагрева полуплоскости;

проведена модернизация аналитических и численно-аналитических методов решения нестационарных задач термоупругости в плоской постановке с использованием метода функций влияния;

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

разработаны новые методы и подходы, применительно к решению задач динамической термоупругости, позволяющие прогнозировать температурные напряжения, возникающие в деталях в процессе их изготовления методом селективного лазерного плавления;

определены перспективы дальнейшего использования разработанных численно-аналитических и конечно-элементных моделей для анализа термонапряженного состояния изделий в процессе синтеза металлпорошковой композиции методом селективного лазерного плавления;

созданы новые эффективные численно-аналитические и конечно-элементные модели для определения температурных напряжений в процессе изготовления изделий методом селективного лазерного плавления металлпорошковых композиций;

представлены результаты численно-аналитических и конечно-элементных расчетов термонапряженного состояния изделий в процессе их создания методом селективного лазерного плавления;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовалось сертифицированное и широко известное оборудование, а также уникальные установки, а именно: универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5969 с программным обеспечением Bluehill 3, высокотемпературная печь Instron 3119-406 и видеоэкстензометр Instron 2663-821. Маятниковый копёр TЕМЕ XJJ-50 для проведения ударных испытаний. Испытательная система VHCF, состоящая из ПК, внешней платы National Instruments, генератора Branson и пьезоэлектрического преобразователя, для проведения усталостных испытаний. Сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 40 для проведения микроскопических исследований поверхности излома образцов;

теория и методы построены на известных и обоснованных методах механики деформируемого твердого тела, теории термоупругости, строительной механики и сопротивления материалов, методы решения математически строгие и непротиворечивы;

идея базируется на обобщении метода функций влияния применительно к решению задач динамической термоупругости в плоской постановке, позволяющие описывать механическое поведение материала при нагреве подвижным высокоинтенсивным источником тепла;

использованы сравнения полученных результатов численно-аналитических и конечно-элементных расчетов определения технологических температурных напряжений, возникающих в деталях в процессе выборочного лазерного плавления с применением современной методики сбора и обработки исходной информации;

установлена удовлетворительная согласованность результатов численных расчетов с аналитическим решением;

использованы современные программные комплексы математического и численного моделирования, а именно: программный пакет, система компьютерной алгебры Maple, универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа COMSOL Multiphysics, язык программирования Python.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и получении новых аналитических и численных решений задач динамической термоупругости, применительно к описанию термонапряженного состояния изделий в процессе их синтеза методом селективного лазерного плавления. В подготовке геометрии и изготовлении экспериментальных образцов из сплава РН1 методом селективного лазерного плавления. В подготовке, калибровке и непосредственном участии при проведении статических и динамических испытаний образцов из сплава РН1. В разработке конечно-элементной модели динамики процесса селективного лазерного плавления в программном комплексе Comsol Multiphysics и обработке полученных результатов. А также, в подготовке статей по теме диссертации, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, и статей, опубликованных в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, в подготовке и представлении докладов о результатах диссертационного исследования на конференциях, в том числе международных.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями).

На заседании 19 сентября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Терещенко Татьяне Сергеевне ученую степень кандидата технических наук за ее вклад в развитие аналитических методов решения динамических задач термоупругости, а также получение новых экспериментальных данных о статических, динамических и теплофизических характеристиках изделий, изготовленных методом селективного лазерного плавления металлов, что играет важную роль в развитии современной аэрокосмической отрасли.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **12** человек, из них **11** докторов по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин, участвовавших в заседании, из **12** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за **12**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Проректор по научной работе, д.т.н.



А.В. Иванов

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.13,
д.ф.-м.н.

Г.В. Федотенков

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.13,
к.т.н.

А.А. Орехов

«19» 09 2025 г.