

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

Соискатель: Лукина Елена Александровна

Тема диссертации: «Материаловедческие проблемы надежности и биосовместимости перспективных конструкций из сплавов на основе титана для стабилизации позвоночника и способы их решения» выполнена в Образовательном центре Института №11 «Новые материалы и производственные технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет».

Специальность: 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 25 декабря 2025 года, протокол № 300/25, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Лукиной Елене Александровне ученую степень доктора технических наук.

Присутствовали:

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

д.т.н. Абраимов Н.В., д.т.н. Андрианова Н.Н., д.т.н. Бецофен С.Я., д.т.н. Бабаевский П.Г., д.т.н. Бухаров С.В., д.т.н. Гусев Д.Е., д.т.н. Егорова Ю.Б., д.т.н. Иванов Д.А., д.т.н. Коллеров М.Ю., д.т.н. Крит Б.Л., д.т.н. Лозован А.А., д.т.н. Никитина Е.В., д.т.н. Серов М.М., д.т.н. Слепцов В.В., д.т.н. Терентьева В.С., д.т.н. Чекалова Е.А., д.т.н. Шляпин С.Д.

Ученый секретарь
диссертационного совета

С.В. Скворцова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04,
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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25 декабря 2025 года № 300/25

О присуждении Лукиной Елене Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Материаловедческие проблемы надежности и биосовместимости перспективных конструкций из сплавов на основе титана для стабилизации позвоночника и способы их решения» по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) принята к защите 18 сентября 2025 г., протокол № 284/25 диссертационным советом 24.2.327.04 (Д 212.125.15), созданным 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 совета № 129/нк от 22.02.2017 г. и приказ о внесении изменений в состав совета № 692/нк от 18.11.2020 г.

Соискатель Лукина Елена Александровна, 20 октября 1979 года рождения, в 2002 году закончила Московский государственный авиационный технологический университет им. К.Э. Циолковского.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Закономерности формирования структуры при ионно-вакуумном азотировании титановых сплавов» защитила в 2005 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВПО «МАТИ» - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского», работает доцентом Образовательного центра Института № 11 «Новые материалы и производственные технологии»

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Образовательном центре Института №11 «Новые материалы и производственные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Коллеров Михаил Юрьевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Образовательный центр Института № 11 «Новые материалы и производственные технологии», профессор.

Официальные оппоненты:

Попов Артемий Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Термообработка и физика металлов», заведующий кафедрой;

Маркова Галина Викторовна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», кафедра «Машиностроение и материаловедение», профессор;

Дьяков Илья Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», кафедра общей и теоретической физики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим Лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика

Н.Т. Гудцова, ведущим научным сотрудником, чл.-корр. РАН, доктором технических наук Банных И.О. и утвержденном заместителем директора по научной работе, доктором технических наук Юсуповым В.С., указала, что по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Лукина Елена Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Соискатель имеет 112 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 33 работы, из них 25 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК РФ, из которых в Белом списке – 25, RSCI – 14, переведены в журналах, включенных в международные системы цитирования Web of Science и/или Scopus – 10, и 8 статей в высокорейтинговых журналах, входящих в международные базы данных и системы цитирования Web of Science и/или Scopus (в том числе в Q1 – 4 статьи).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Лукина, Е.А. Формирование наноструктурных градиентных износостойких слоев на поверхности титановых сплавов разных классов при вакуумном ионно-плазменном азотировании / Лукина Е.А., Александров А.А., Шафоростов А.А., Спектор В.С. // Перспективные материалы. 2010. №9. С.151–155.

2. Мамонов, А.М. Принципы построения комплексных технологических процессов производства имплантатов из титановых сплавов, включающих вакуумные ионно-плазменные технологии / Мамонов А.М., Скворцова С.В., Спектор В.С., Нейман А.П., Лукина Е.А., Митропольская Н.Г. // Титан. 2012. №3(37). С. 45–50.

3. Kollerov, M. Impact of material structure on the fatigue behaviour of NiTi leading to a modified Coffin-Manson equation / Kollerov M., Lukina E., Gusev D.,

Mason P., Wagstaff P. // *Materials Science and Engineering: A*. 2013. Vol. 585. P. 356–362. [Q1].

4. Lukina, E. Analysis of retrieved growth guidance sliding LSZ-4D devices for early onset scoliosis and investigation of the use of nitinol rods for this system / Lukina E., Kollerov M., Meswania J., Wertheim D., Mason P., Wagstaff P., Laka A., Noordeen H., Weng Yoon W., Blunn G. // *Spine*. 2015. Vol. 40. No. 1. P. 17–24. [Q1].

5. Lukina, E. Metal concentrations in the blood and tissues after implantation of titanium growth guidance sliding instrumentation / Lukina E., Laka A., Kollerov M., Sampiev M., Mason P., Wagstaff P., Noordeen H., Weng Yoon W., Blunn G. // *The Spine Journal*. 2016. Vol. 16. P. 380–388. [Q1].

6. Лукина, Е.А. Исследование износостойкости сплава на основе никелида титана для медицинских имплантатов / Лукина Е.А., Коллеров М.Ю., Панин П.В., Хон А.А. // *Титан*. 2016. №3(53). С. 35–42.

7. Lukina, E. Fretting corrosion behavior of nitinol spinal rods in conjunction with titanium pedicle screws / Lukina E., Kollerov M., Meswania J., Khon A., Panin P., Blunn G.W. // *Materials Science and Engineering: C*. 2017. Vol. 72. P. 601–610. [Q1].

8. Лукина Е.А. Исследование износа и концентрации металлических ионов в организме при применении имплантируемых конструкций из титанового сплава Ti6Al4V для лечения детских сколиозов // *Титан*. 2022. №1(74). С. 47–53.

9. Лукина, Е.А. Исследование влияния структуры сплавов на основе никелида титана коррозионную стойкость в биологической среде / Лукина Е.А., Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е. / *Металлург*. 2023. №11. С. 54–65.

10. Коллеров, М.Ю. Влияние ступенчатого старения на структуру и температуры мартенситного превращения сплава Ti – 55,6 масс. % Ni / Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е., Алсаева О.С., Лукина Е.А. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2025. №8(842). С. 19–28.

11. Лукина, Е.А. Влияние параметров лазерной маркировки на структуру и коррозионную стойкость имплантатов из сплава на основе никелида титана / Лукина Е.А., Сарычев С.М., Шалин А.В. // *Электротехнология*. 2025. №8. С. 29–39.

12. Лукина, Е.А. Структура и свойства покрытий на основе TiZrNb для повышения коррозионной стойкости имплантатов из никелида титана / Лукина Е.А., Сарычев С.М., Коллеров М.Ю. // *Металлург*. 2025. №8. С. 63–71.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов: от Автономной некоммерческой организации «Научно-исследовательский институт имплантационного протезирования им. Н.Н. Знаменского» за подписью начальника лаборатории физических методов исследований, кандидата технических наук, доцента Дзуновича Д.А.; от Калужского филиала ФГАУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» за подписью профессора кафедры «Высшая математика и физика», доктора технических наук, профессора Лысенко Л.В.; от Института физики металлов УрО РАН за подписями главного научного сотрудника лаборатории цветных сплавов, руководителя отдела электронной микроскопии, доктора физико-математических наук, профессора Пушина В.Г. и ведущего научного сотрудника лаборатории цветных сплавов, кандидата физико-математических наук Курановой Н.Н.; от ООО «ДОНА-М» за подписью генерального директора Невзорова А.М.; от Опытно-конструкторского бюро Сухого (филиал ПАО «ОДК» – ОТА) за подписью главного конструктора – начальника НИО-21, кандидата технических наук Филатова А.А.; от ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» за подписью заведующего кафедрой «Материаловедение», доктора технических наук, профессора Овчинникова В.В.; от НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ за подписью ведущего научного сотрудника лаборатории «Коррозия и защита металлических материалов», кандидата химических наук Кутырева А.Е.; от ЗАО «Межгосударственная ассоциация Титан» за подписью генерального директора, кандидата технических наук Александрова А.В.; от ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» за подписью профессора кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», доктора технических наук, профессора Муратова В.С.; от ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» за подписью заведующего кафедрой «Материаловедение, литье и сварка», доктора

технических наук, профессора Шатульского А.А.; от ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» за подписью директора научно-исследовательского института физики перспективных материалов, доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного деятеля науки Республики Башкортостан Валиева Р.З.; от АО «ЦИТО» за подписью директора по производству, кандидата технических наук Подборнова И.В.

Все отзывы положительные, в них отражена научная новизна, актуальность и практическая значимость работы, некоторые отзывы содержат замечания, например:

- в главе 3 рассмотрены закономерности формирования защитных градиентных покрытий на основе Ti-Zr-Nb-N, предназначенных для повышения коррозионных свойств и свойств износостойкости сплава на основе никелида титана. Однако в автореферате отсутствует информация, как о толщине наносимых покрытий, так и о возможном влиянии этой толщины на исследуемые свойства сплава;

- в тексте очень много условных обозначений и сокращений, что затрудняет чтение автореферата. Не всегда они расшифрованы, например, непонятно, что означает обозначение “B2” при описании фазового состава сплавов в табл. 1;

- в качестве замечания следует отметить, что на стр. 21 автореферата указывается, что при проведении испытаний элементов крепления транспедикулярных имплантатов на стойкость к фреттинг-коррозии увеличение частоты нагружения от 1 до 3 Гц и количества циклов испытаний от 3600 до 10^6 при низких значениях изгибающего момента не оказывает статистически значимого влияния на показатели фреттинг-коррозии. Данное утверждение требует дополнительного пояснения в части подразумевающихся автором значений $M_{изг}$ и перечня показателей фреттинг-коррозии, а также причин независимости последних от числа циклов испытаний;

- автор не обосновывает используемые значения температур и длительности вакуумного отжига и старения сплавов на основе TiNi при оценке структурно-фазового состояния и показателей питтинговой коррозии (с. 24, 25).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области данной диссертационной работы, подтвержденной наличием у них соответствующих публикаций, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция снижения рисков развития механически усиленной щелевой коррозии и износа компонентов перспективных конструкций из сплавов на основе титана, основанная на комплексном подходе, включающем оптимизацию фазово-структурного состояния сплавов, создание на их поверхности износостойких и механически совместимых с материалом основы функционально-градиентных покрытий, конструктивные решения сопряжения элементов транспедикулярных конструкций;

разработаны новые экспериментальные методики оценки надежности и биосовместимости перспективных транспедикулярных конструкций для стабилизации позвоночника.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что для динамических транспедикулярных конструкций с балками из никелида титана преждевременное их разрушение и/или повышение вероятности попадания в организм токсичных ионов никеля обусловлено развитием механически усиленной щелевой коррозии балок, приводящей к образованию коррозионных очагов с оксидными продуктами в местах их соприкосновения с элементами крепления (транспедикулярными винтами), которые являются источниками трещин, а для скользящих конструкций из титанового сплава Ti6Al4V – повышенным износом ее компонентов;

изложены результаты исследования влияния величины изгибающего момента, частоты нагружения, длительности испытаний, фазово-структурного состояния сплавов на основе никелида титана и геометрии элементов крепления

на стойкость компонентов из этого материала к коррозионно-механическому разрушению в узлах динамических транспедикулярных конструкций;

изложены результаты влияния среды испытаний на механизмы изнашивания, морфологию частиц износа и объемный износ металл-металлических пар трения «Ti6Al4V–Ti6Al4V», «TiNi–Ti6Al4V» и «CoCrMo–Ti6Al4V» в различных фазово-структурных состояниях, нанесения износостойких покрытий на основе нитрида титана (TiN) и алмазоподобного углерода (DLC) на сплавы Ti6Al4V и TiNi, а также модифицирование их поверхности методами низкотемпературного вакуумного ионно-плазменного азотирования или ионной имплантации азота на износостойкость металл-металлических пар трения;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования структуры и механических свойств материалов, в том числе: электронная микроскопия, рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализы, а также теоретическое моделирование методом конечных элементов.

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

разработаны и внедрены в ООО «КИМПФ» методики испытаний сборных узлов динамических транспедикулярных конструкций с балками из сплавов на основе никелида титана, а также рекомендации, включающие выбор состава сплава на основе никелида титана, учитывающего соотношение основных компонентов сплава и примесного содержания кислорода, метода выплавки слитков, режимов высокотемпературного вакуумного отжига, рекомендации по проектированию винтов для динамических транспедикулярных конструкций с балками из никелида титана, препятствующих протеканию локальной пластической деформации на поверхности балок, а также режимы вакуумной ионно-плазменной обработки для создания на поверхности сплавов на основе никелида титана функционально-градиентного покрытия на основе системы Ti–Zr–Nb–N, что обеспечило высокую стойкость к коррозионно-механическому разрушению и надежность конструкций;

определен критерий критического объемного износа скользящих транспедикулярных конструкций из медицинского сплава Ti6Al4V, составляющий не более $1,9 \pm 0,1$ мм³/год на один уровень позвоночника, не приводящий к снижению биосовместимости сплава и возникновению локальных осложнений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ использованы высокоточные методы исследований и испытаний по аттестованным методиками, с применением поверенных средств измерений и современного оборудования с необходимым метрологическим обеспечением в соответствии с ГОСТ. Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью и хорошим совпадением экспериментальных данных и теоретических расчетов, а также использованием специализированного лицензионного программного обеспечения для теоретического моделирования и методов математической статистики для обработки результатов исследований и испытаний;

идея базируется на анализе передового опыта и публикаций ведущих отечественных и зарубежных научных школ и отдельных исследователей, а также многолетнем опыте научно-исследовательской деятельности автора-соискателя.

Личный вклад соискателя состоит в научном обосновании цели и задач исследования, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе, обработке, систематизации, описании и интерпретации полученных экспериментальных и теоретических результатов, формулировке выводов и практических рекомендаций и написании научных статей.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

– Вопрос по методике. Вы проводите усталостные испытания. Они предполагают приложение синусоидальной нагрузки? Как в этом случае учитываются возможные ударные нагрузки, например, при прыжках пациента?

– Как влияет тепловое воздействие при азотировании на структурно-фазовое состояние балки из никелида титана? Не уменьшает ли эта технология пределы реализации сверхупругого эффекта?

– Почему вы применяете малый диапазон частоты нагружения при испытаниях на стойкость к фреттинг-коррозии от 1 до 3 Гц?

Соискатель Лукина Е.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

– Для транспедикулярных конструкций существуют стандарты для усталостных испытаний. Для того, чтобы инициировать коррозионный процесс применялся не средний 5 Н·м, а максимально возможный изгибающий момент 12 Н·м, возникающий при функциональных движениях.

– Да, при возникновении перегрева в процессе нанесения покрытий или при дополнительном азотировании температуры восстановления формы понижались, поскольку растворялись богатые никелем соединения, и для восстановления функциональных свойств потребовалось проведение старения в вакууме в диапазоне заранее выбранных температур.

– Данный диапазон частоты приложения нагрузки от 1 до 3 Гц возникает при эксплуатации имплантируемых изделий и предписан стандартами для их испытаний. При этом необходимо было убедиться, что варьирование в данном диапазоне не будет оказывать влияния на показатели стойкости к фреттинг-коррозии.

На заседании 25 декабря 2025 года диссертационный совет принял решение за предложенные новые научно обоснованные технические и технологические решения по оптимизации фазово-структурного состояния сплавов на основе титана, созданию износостойких и механически совместимых с материалом основы функционально-градиентных покрытий, конструктивные решения правильного сопряжения элементов транспедикулярных конструкций, разработку методик испытаний, обеспечивающих надежность и биосовместимость транспедикулярных конструкций, внедрение которых вносит значительный вклад

в развитие страны, присудить Лукиной Елене Александровне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Мамонов Андрей Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Скворцова Светлана Владимировна

25 декабря 2025 года

Проректор по научной работе



Иванов Андрей Владимирович