

Заключение диссертационного совета 24.2.312.12,
созданного на базе федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный
исследовательский технологический университет»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.01.2026 г. № 1

О присуждении Гребенщиковой Марине Михайловне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научно-технологические основы создания биомедицинских материалов с многослойными наноструктурированными биоактивными и биостойкими покрытиями с применением плазменных технологий» по специальности 2.6.17 принята к защите «20» октября 2025 г. (протокол заседания № 11) диссертационным советом 24.2.312.12, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68; совет утвержден приказом Минобрнауки от 22.06.2023 г. № 1311/нк.

Соискатель, Гребенщикова Марина Михайловна 24.08.1979 года рождения, в 2002 году окончила Казанский государственный университет им. Ульянова-Ленина, квалификация «Эколог». В период с 2009 по 2012 год обучалась в очной аспирантуре КГТУ (в настоящее время ФГБОУ ВО «КНИТУ»), диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по направлению «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» на тему «Биологически безопасные коженые материалы протезно-ортопедического назначения, полученные с применением плазменных технологий» защитила в 2012

году, в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВО «КНИТУ». В настоящее время работает в должности доцента кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Диссертация выполнена на кафедре «Плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий», с использованием методик и аналитического оборудования кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» и центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы», комплексной лаборатории «НаноАналитика» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Научный консультант - доктор физико - математических наук, доцент, Желтухин Виктор Семенович, профессор кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Официальные оппоненты:

Корнеева Наталья Витальевна – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук»;

Коваль Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт сильноточной электроники» Сибирского отделения Российской академии наук;

Файзрахманов Ильдар Абдулкабирович - доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского – обособленного структурного подразделения федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, в своем положительном отзыве, подписанном: доктором технических наук, заведующим кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы» Гуревичем Леонидом Моисеевичем и утвержденном первым проректором Кузьминым Сергеем Викторовичем, указала, что научная новизна диссертационной работы заключается в разработке научных основ и технологических подходов к созданию биостойких и биоактивных биомедицинских материалов. Необходимые свойства обеспечиваются многослойным покрытием из нитридов титана и гафния, активированным потоком низкоэнергетических (50–100 эВ) ионов аргона и азота, что придает материалу биоактивность в жидких средах на срок до 10 суток.

Автором показано, что предварительная модификация коллагенового материала (натуральной кожи) потоком низкоэнергетических (50–100 эВ) ионов аргона приводит к образованию активированного подслоя из концевых групп коллагена и повышает структурную упорядоченность. Это создает условия для формирования высокоадгезионных, биостойких и биоактивных многослойных покрытий из нитридов гафния и титана.

Установлено, что последовательная обработка предварительно модифицированной коллагенсодержащей подложки потоком низкоэнергетических ионов аргона и чередование плазменных потоков ионов титана и гафния в азотной среде при давлении азота 0,2 Па, позволяет сформировать решеточный слой титана и циклические нанослои нитридов гафния с нанокристаллитами 6–20 нм и титана. Данная структура, с внешним слоем из нитрида гафния, обеспечивает высокую адгезионную прочность, биостойкость и биоактивность. Бомбардировка покрытия HfN ионами Ar⁺ ослабляет связи нанокристаллитов с основой, облегчая их десорбцию в биологические жидкости.

Установлено, что бомбардировка многослойного нитридного гафниево-титанового покрытия с поверхностным слоем наноструктурированного HfN

толщиной 20–40 нм потоком низкоэнергетических (50–100 эВ) ионов смеси Ar/N₂ (в соотношении 70/30) приводит к низкоэнергетической имплантации и передаче энергии нанокристаллитам нитрида гафния, что увеличивает их выход в окружающие жидкие биологические среды.

Показано, что в структуре полученных вакуумно-дуговым методом многослойных Hf-Ti-N покрытий, превосходящих однослойные аналоги по комплексу механических и физических свойств, присутствуют связующие слои кристаллов замещения состава HfTiN₂. Эти слои формируются при совместном осаждении нитридов гафния и титана и соединяют нанослои нитридов.

Диссертация Гребенщиковой М.М. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной проблемы по созданию биомедицинских материалов, обладающих как биостойкими, так и биоактивными свойствами на заданный промежуток времени нахождения в организме человека с применением плазменных технологий, а именно, технологии ионно-плазменного нанесения наноструктурированных покрытий и их модификации с помощью потока низкоэнергетических ионов, а соискатель Гребенщикова М.М. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Основные научные результаты работы и положения диссертации отражены в 94 публикациях, в том числе 38 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, публикаций в Scopus - 3, четыре патента, а также тезисы на конференциях различного уровня.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени, заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных Гребенщиковой М.М. в соавторстве, без ссылок на соавторов. Авторский вклад соискателя составляет 87,73%.

Наиболее значимые работы соискателя по теме диссертации:

1. Timoshina, Yu. A. Use of Plasma Technologies for the Production of Antibacterial Materials based on Nanoscale Structures / Yu. A. Timoshina, **M. M. Grebenshchikova**, Y. O. Zhelonkin // Physics of Atomic Nuclei. – 2023. – Vol. 86, No. 10. – P. 2335-2338.
2. **Grebenshchikova, M. M.** Synthesis of Multilayer Nanostructures Hf–Ti–N from the Plasma Phase / M. M. Grebenshchikova, M. M. Mironov // Physics of Atomic Nuclei. – 2023. – Vol. 86, No. 10. – P. 2339-2343.
3. **Grebenshchikova, M. M.** Multilayer Hf-Ti-N Nanocomposites for Medical Purposes / M. M. Grebenshchikova, M. M. Mironov, V. S. Zheltukhin // High Energy Chemistry. – 2024. – Vol. 58, No. S3. – P. S327-S331.
4. Разработка методики нанесения титановых покрытий на малогабаритные изделия и дисперсные материалы / К. Н. Каримов, Э. Ф. Вознесенский, Ю. А. Тимошина, **М.М. Гребенщикова** [и др.] // Титан. – 2022. – № 2(75). – С. 33-36.
5. **Гребенщикова, М. М.** Экспериментальное установление изменения структуры натуральных коллагенсодержащих материалов в зависимости от плазменной модификации / М. М. Гребенщикова, Л. Р. Зиннатуллина, А. А. Лиганов // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 96-99.
6. Миронов, М. М. Расчет области конденсации нитридных покрытий и их морфология / М. М. Миронов, **М. М. Гребенщикова**, Е. В. Стародумова // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 24. – С. 85-87.
7. Методы металлизации фурнитуры изделий легкой промышленности и порошковых материалов / К. Н. Каримов, Э. Ф. Вознесенский, Ю. А. Тимошина, **М.М. Гребенщикова** [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2022. – Т. 57, № 3. – С. 51-55.
8. Миронов, М. М. Исследование влияния материалов и режимов осаждения ионноплазменных конденсатов на свойства натуральной кожи / М. М. Миронов, Е. Н. Храмов, **М. М. Гребенщикова** // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 12. – С. 108-109.

9. Исследование влияния металлосодержащих PVD-покрытий на антистатические свойства полимерных волокнистых материалов / Д. А. Хайруллов, К. Н. Каримов, Э. Ф. Вознесенский, **М.М. Гребенщикова** [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2023. – Т. 60, № 2. – С. 76-82.

10. Миронов, М. М. Исследование миграции ионов металлов с защитных наноструктурированных покрытий для имплантатов / М. М. Миронов, **М. М. Гребенщикова**, Е. В. Стародумова // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 20. – С. 23-26.

11. **Гребенщикова, М. М.** Получение наноструктурированных биологически активных покрытий на основе нитрида гафния для медицинских имплантатов и медицинских инструментов за счет активации поверхности потоком низкоэнергетических ионов / М. М. Гребенщикова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 2(285). – С. 36-41.

12. Миронов, М. М. Оценка скорости коррозии защитных наноструктурированных покрытий для имплантатов / М. М. Миронов, **М. М. Гребенщикова** // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 42-44.

13. Плазменная очистка титановых подложек имплантируемых материалов / **М. М. Гребенщикова**, М. М. Миронов, Е. В. Кондратьев, В. С. Желтухин // Дизайн. Материалы. Технология. – 2024. – № 4(76). – С. 183-193.

14. Рентгендифракционный анализ покрытий совместной конденсации нитридов титана и гафния из плазменной фазы / М. М. Миронов, Е. В. Стародумова, **М. М. Гребенщикова** [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 12. – С. 58-60.

15. **Гребенщикова, М. М.** Получение биомедицинских материалов с биосовместимыми и биостойкими свойствами на основе многослойных покрытий / М. М. Гребенщикова // Титан. – 2024. – № 2(82). – С. 37-40.

16. Антимикробные свойства наноструктурированных плазменных конденсатов для медицинских имплантатов / М. М. Миронов, **М. М.**

Гребенщикова, И. И. Шамсутдинов, Л. Т. Баязитова // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 16. – С. 149-151.

17. **Гребенщикова, М. М.** Количественная оценка барьерных свойств биомедицинских материалов для ортопедии и травматологии / М. М. Гребенщикова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 17-23.

18. **Гребенщикова, М. М.** Особенности нитрида гафния в покрытиях для медицинских материалов / М. М. Гребенщикова, М. М. Миронов // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 35. – С. 55-67.

19. **Гребенщикова, М. М.** Получение наноструктурированных биологически активных покрытий на основе нитрида гафния для медицинских имплантатов и медицинских инструментов за счет активации поверхности потоком низкоэнергетических ионов / М. М. Гребенщикова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2025. – № 3(285). – С. 33-37.

20. Обоснование применения многослойных наноструктурированных покрытий на основе нитридов гафния в имплантах/ **М. М. Гребенщикова, Ф.В. Шакирова, А.А. Бережная, Е.Д. Кутьина** // Дизайн. Материалы. Технология. – 2025. – № 3(79). – С. 183-191.

21. Antimicrobial properties of nanostructured plasma condensates from medical implants / I. I. Shamsutdinov, L. T. Bayazitova, **M. M. Grebenschikova**, M. M. Mironov // Journal of Physics: Conference Series, Kazan, 05–09 июня 2017 года. Vol. 927. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012053.

22. Mironov, M. M. Structure and properties of nitrides on the surface of collagen / M. M. Mironov, **M. M. Grebenschikova** // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 789, No. 1. – P. 012035.

23. Mironov, M. M. PVD barrier coatings with antimicrobial function for medical implants / M. M. Mironov, **M. M. Grebenschikova**, L. T. Bayazitova // Journal of Physics: Conference Series : XI Scientific Technical Conference on Low

Temperature Plasma during the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2019 года. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012032.

24. Mironov, M. M. Characteristics and properties of nanolayer hafnium based PVD coatings / M. M. Mironov, **M. M. Grebenshchikova**, E. A. Mironova // Journal of Physics: Conference Series : 12, Kazan, 10–12 ноября 2020 года. – Kazan, 2021. – P. 012005.

25. Mironov, M. M. Confidence of nano-measurements of Hf-Ti-N multilayer PVD condensates from the plasma phase / M. M. Mironov, **M. M. Grebenshchikova** // Journal of Physics: Conference Series : 2. Vol. 2270. – Virtual, Online, 2022. – P. 012057.

26. Тимошина, Ю. А. Применение плазменных технологий для создания антибактериальных материалов на основе наноразмерных структур / Ю. А. Тимошина, **М. М. Гребенщикова**, О. Я. Желонкин // Ядерная физика и инжиниринг. – 2024. – Т. 15, № 3. – С. 300-304.

27. **Гребенщикова, М. М.** Синтез многослойных наноструктур Hf–Ti–N из плазменной фазы / М. М. Гребенщикова, М. М. Миронов // Ядерная физика и инжиниринг. – 2024. – Т. 15, № 3. – С. 305-310.

28. Исследование устойчивости биоактивных покрытий из нитрида титана на натуральной коже, нанесенных плазмохимическим методом к вымыванию / **М. М. Гребенщикова**, Е. А. Ванюкова, И. И. Васильев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 17. – С. 169-171.

29. **Гребенщикова, М. М.** Количественное определение продуктов вымывания из натуральной кожи, модифицированной методом конденсации из плазменной фазы / М. М. Гребенщикова, Е. А. Ванюкова, И. Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 17. – С. 71-73.

30. **Гребенщикова, М. М.** Изменение гигиенических свойств кожаного материала, связанное с его модификацией плазменным методом / М. М. Гребенщикова, И. Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 21. – С. 83-85.

31. Исследование кожевенных материалов на основе натуральной кожи и наноструктурированных слоев металлов / **М. М. Гребенщикова**, Е. А. Ванюкова, И. Ш. Абдуллин, Э. Б. Гатина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 8. – С. 65-66.

32. Кузьмина, О. Н. Исследование изменения прочностных свойств кожевенного материала, модифицированного плазменными методами / О. Н. Кузьмина, Л. М. Хайдарова, **М. М. Гребенщикова** // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 11. – С. 100-102.

33. **Гребенщикова, М. М.** Исследование токсичности материалов для ортопедии с покрытиями, полученными ионно-плазменным способом / М. М. Гребенщикова, Р. А. Нигматуллина, Л. М. Хайдарова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 12. – С. 49-53.

34. **Гребенщикова, М. М.** О возможности использования материалов различной природы в изделиях медицинского назначения / М. М. Гребенщикова, Е. А. Миронова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 17. – С. 35-40.

35. Воздействие наноструктурированных слоев конденсированных из плазменной фазы на бактериостатические свойства ортопедической кожи / **М. М. Гребенщикова**, Л. М. Хайдарова, Е. А. Ванюкова, И. Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 17. – С. 78-80.

36. **Гребенщикова, М. М.** О возможности исследования устойчивости биоактивных покрытий, нанесенных на природные наноструктурированные полимеры ионно-плазменным методом / М. М. Гребенщикова, Е. А. Ванюкова, М. М. Миронов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 20. – С. 153-155.

37. **Гребенщикова, М. М.** Рентгенофлуоресцентный анализ веществ, мигрирующих из кожевенных образцов, обработанных плазмоконденсатами металлов / М. М. Гребенщикова, Е. А. Ванюкова, М. М. Миронов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 20. – С. 72-73.

38. Об исследовании бактериостатических свойств кожевенного материала, применяемого в ортопедии / **М. М. Гребенщикова**, Е. А. Ванюкова,

Д. Н. Гиззатуллина, Э. Б. Гатина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 9. – С. 52-55.

39. Ванюкова, Е. А. Изменение гидрофильности натуральных полимерных материалов, модифицированных ионно-плазменным методом / Е. А. Ванюкова, О. Н. Кузьмина, **М. М. Гребенщикова** // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 215-217.

40. Ванюкова, Е. А. Разработка рекомендаций для технологии получения антимикробного кожаного материала / Е. А. Ванюкова, **М. М. Гребенщикова** // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 14. – С. 177-178.

41. Оптимизация параметров работы установки по нанесению покрытий из плазменной фазы на белоксодержащие материалы / **М. М. Гребенщикова**, Е. А. Ванюкова, А. П. Кирпичников, Д. М. Семенов // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 18. – С. 166-169.

42. Миронов, М. М. Особенности получения слоистой структуры PVD покрытий на основе гафния / М. М. Миронов, **М. М. Гребенщикова**, Е. А. Миронова // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 12. – С. 60-64.

Объекты интеллектуальной собственности:

43. Патент № 2494172 С1 Российская Федерация, МПК С23С 14/24, С23С 14/06. Способ получения износостойкого покрытия : № 2012133945/02 : заявл. 07.08.2012 : опубл. 27.09.2013 / И. Ш. Абдуллин, М. М. Миронов, **М. М. Гребенщикова** [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВПО «КНИТУ»).

44. Патент № 2554773 С1 Российская Федерация, МПК А61L 27/06, А61L 27/30, С23С 14/30. Материал бактерицидного покрытия : № 2014108433/15 : заявл. 25.02.2014 : опубл. 27.06.2015 / М. М. Миронов, И. Ф. Файзрахманов, И. И. Васильев, **М. М. Гребенщикова** [и др.]

45. Патент на полезную модель № 170932 U1 Российская Федерация, МПК А61F 2/60. Культеприемник шинно-кожаного немодульного протеза : №

2016145729 : заявл. 23.11.2016 : опубл. 15.05.2017 / **М. М. Гребенщикова**, М. М. Миронов, А. Р. Гарифуллина, Е. В. Стародумова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»).

46. Патент № 2801170 С1 Российская Федерация, МПК С23С 14/14, С23С 14/24, А61L 27/28. Бактерицидное покрытие : № 2023110144 : заявл. 20.04.2023: опубл. 02.08.2023 / **М. М. Гребенщикова**, М. М. Миронов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

На автореферат диссертации поступило 14 отзывов: доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией «Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов» Института нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева Российской Академии Наук, главного научного сотрудника, Юрия Анатольевича Лебедева; доктора физико-математических наук, профессора, профессора ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана (НИУ)», Сергея Витальевича Рыжкова; доктора физико-математических наук, профессора, начальника лаборатории «Кинетика слабоионизированной плазмы» «Государственного Научного Центра Российской Федерации Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований», Юрия Семеновича Акишева; доктора химических наук, заведующего кафедрой «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Руслана Сагитовича Давлетбаева; доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии строительный материалов, изделий и конструкций» Казанской государственной архитектурно-строительной академии, Вадима Григорьевича Хозина; доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории плазмы ФГБУН «Объединенного института высоких температур Российской академии наук» Марины Борисовны Шавелкиной; доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника научно-

исследовательского отдела ФГБУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова» Российской академии наук, Валерия Александровича Титова; доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Елены Вячеславовны Матыгуллиной; доктора технических наук, профессора отделения электроэнергетики и электротехники, заведующего лабораторией перспективных материалов энергетической отрасли ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Пака Александра Яковлевича; доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, руководителя Научного центра металлургической физики и материаловедения ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УроРАН», Владимира Ивановича Ладьянова; доктора технических наук, заведующего кафедрой технической физики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», Алмаза Фивзатовича Гайсина; доктора технических наук, заведующей кафедрой технологии и управления качеством продукции АПК имени С.А. Каспарьянца ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Марии Владимировны Горбачевой; доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Физики и микроэлектроники» «Кыргызско-Российского Славянского университета имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина», Валерия Михайловича Лелевкина; доктора технических наук, профессора Базовой кафедры индустрии качества ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Ольги Витальевны Фукиной.

Все отзывы положительные. В качестве пожеланий и замечаний отмечено следующее: 1) Экономический эффект складывается из нескольких значений, округленных до разного количества знаков после запятой (незначительный недостаток оформления) (А.Я. Пак); 2) Видится избыточным наличие в работе 11 положений, выносимых на защиту; (А.Я. Пак); 3) На рис. 4 не указаны доверительные интервалы; (А.Я. Пак); 4) Насколько автор уверен в том, что

тройные нитридные соединения соответствуют обозначенной стехиометрии ввиду известных аппаратных ограничений аналитического оборудования и сложностей идентификации нестехиометрических соединений подобного состава? (А.Я. Пак); 5) Погрешность полученных значений позволяет оценить точность и достоверность измерений, что критически важно для сравнения разных подходов, оценки качества приборов и методик. В автореферате не приводятся погрешности измерений. (М.Б. Шавелкина); 6) Микротвердость выражается как отношение приложенной нагрузки к площади образовавшегося отпечатка в гигапаскалях. В таблице 2 на странице 20 приводятся значения твердости и микротвердости, но не указан размер покрытия, на котором эти значения получены. Отсутствует сравнение свойств с применяемыми современными покрытиями в данных направлениях медицины (М.Б. Шавелкина); 7) Поясните как взаимосвязаны между собой скорость миграции гафния и динамика его концентрации (рис.4). (О.В. Горбачева).

Выбор официальных оппонентов обосновывается их достижениями и компетенцией в области плазменных процессов формирования слоев, исследования свойств наноматериалов, наличием публикаций в соответствующей области исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Ведущая организация известна исследованиями в области многослойных покрытий с применением плазменных технологий, изучения их свойств и технологий получения. Исследования ведущих ученых (Н. А. Адаменко, В.Н. Арисовой, Л. М. Гуревича, В. Г. Шморгуна), отражены: в публикациях и журналах реферативной базы Scopus, в российских и международных изданиях.

Диссертационный совет 24.2.312.12 отмечает, что наиболее существенные результаты, полученные соискателем исследований, и их научная новизна заключаются в следующем:

Созданы научно-технологические основы получения биомедицинских материалов, сочетающих биостойкость и контролируемую биоактивность, которые обеспечиваются формированием на поверхности материала многослойного покрытия из нитридов титана и гафния с последующей

активацией потоком низкоэнергетических ионов аргона и азота, с энергией ионов 50–100 эВ, придающей материалу способность проявлять биоактивные функции в жидких физиологических средах на заданный период, достигающий до 10 суток максимальной активности.

Показано, что предварительная обработка коллагенсодержащего материала потоком низкоэнергетических ионов аргона приводит к формированию на поверхности натуральной кожи активированного подслоя за счет концевых групп коллагена, а также повышает общую упорядоченность микроструктуры, что обеспечивает высокую адгезию последующих многослойных покрытий из нитридов гафния и титана, и является основой для достижения требуемых биостойкости и биоактивности конечного биомедицинского материала на натуральной основе.

Установлена эффективная последовательность технологических стадий получения биомедицинского материала с архитектурой, обеспечивающей высокую адгезионную прочность и комплекс необходимых для биомедицинских материалов свойств, структура полученных методом вакуумно-дугового испарения многослойных покрытий на основе нитридов гафния и титана превосходит однослойные аналоги из чистых нитридов титана или гафния по ряду критически важных механических и физико-химических характеристик.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Разработаны биомедицинские материалы для ортопедии и травматологии на основе полимерных и металлических матриц с наноструктурированным многослойным нитридным покрытием системы гафний-титан, полученные с применением плазменных технологий.

Установлены параметры ВЧЕ плазменной обработки потоком низкоэнергетических ионов аргона и азота в соотношении 70:30. Они составили: Мощность (W_i) = 50-100 эВ, энергия (J_i) = 05-1,5 А/м², время (T) = 20 минут, давление (P) = 26,6 Па. Установленные параметры позволяют активировать поверхность нитридного гафниевого слоя покрытия для повышения выхода

нанокристаллитов нитрида гафния и их дальнейшего взаимодействия с болезнетворной микрофлорой.

Определены и экспериментально подтверждены режимы конденсации многослойных покрытий $\text{HfN}+\text{TiN}$ на полимерные и металлические подложки: давление азота 0,2 Па, опорное напряжение 230 В, частота вращения манипулятора 0,033 Гц, токи дуговых испарителей: для гафния 2×75 А, для титана 60 А. Скорость конденсации при данных параметрах составляет для TiN 1,25 нм/с, для HfN (от двух испарителей) 0,44 нм/с.

Методом математического моделирования установлено, что процесс модификации с применением струйного ВЧЕ-разряда пониженного давления многослойного наноструктурированного покрытия на основе нитридов гафния и титана происходит за счет потока низкоэнергетических ионов с $W_i = 50-100$ эВ и $J_i = 0,5 - 1,5$ А/м².

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

Полученные результаты диссертационной работы по разработке технологических рекомендаций по производству биоактивных и биостойких биомедицинских материалов для ортопедии и травматологии на основе наноструктурированных гафниево-титановых нитридных многослойных покрытий, активированных потоком низкоэнергетических ионов аргона и азота внедрены в производство компаний ООО «ПТО Медтехника» и ООО «Кожевник» (г. Казань).

Расчетный годовой экономический эффект от внедрения биоматериала на основе титана с модифицированным ионной обработкой многослойным нитридным покрытием составляет:

для ООО «ПТО Медтехника» – 6,23 млн руб.;

для ООО «Кожевник» – 1,22 млн руб.;

суммарный эффект – 7,45 млн руб.

Получены ортопедические биоматериалы в виде многослойных гафниево-титановых нитридных покрытий общей толщиной 0,7–0,9 мкм (при толщине отдельного слоя 14–25 нм) на матрице из натуральной кожи хромового дубления

(ГОСТ 3674-74). Материалы характеризуются барьерными свойствами в отношении хрома (концентрация ионов хрома в водной среде за 30 суток не превышает $4,7 \times 10^{-6}$ моль/л), обладают антимикробной активностью против патогенной микрофлоры, цитосовместимы, а также демонстрируют повышенные прочностные и гигроскопические свойства: предел прочности при растяжении 12–15 МПа, температуру сваривания не ниже 104 °С, гигроскопичность не более 27%.

Получены биоматериалы для травматологии в виде наноструктурированных многослойных нитридных покрытий системы гафний-титан общей толщиной 2–5 мкм (толщина слоя 14–25 нм) на титановой матрице марки ВТ6. Материалы отличаются высокой микротвердостью поверхности, цитосовместимостью, барьерным эффектом в отношении токсичного ванадия, повышенной коррозионной стойкостью и устойчивостью к воздействию стандартных средств стерилизации.

Оценка достоверности научных положений, выводов и результатов, обеспечена применением современных аналитических методов, стандартных и специальных методик испытаний, согласованностью данных, полученных при использовании комплекса методов исследования и в сопоставлении полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в опубликованных в соавторстве работах, в выборе и обосновании объектов и методов исследований; в проведении экспериментов; анализе, обработке и обобщении полученных экспериментальных данных; в разработке научно-технологических основ создания биомедицинских материалов с биоактивными свойствами с применением плазменных технологий.

По своему содержанию диссертация Гребенщиковой М.М. соответствует паспорту научной специальности ВАК 2.6.17 Материаловедение: п. 5 – Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий от действия механических нагрузок и внешней

среды; п.12 – Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий; п. 15 – Разработка процессов получения новых металлических, неметаллических и композиционных материалов биомедицинского назначения, установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии получения, а также эксплуатационных и других факторов на свойства биомедицинских изделий.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний; соискатель исчерпывающе ответил на вопросы, задаваемые ему в ходе заседания, привел собственную аргументацию. С рядом высказанных замечаний соискатель согласился.

Диссертационным советом сделан вывод, что диссертация Гребенщиковой Марины Михайловны на тему: «Научно-технологические основы создания биомедицинских материалов с многослойными наноструктурированными биоактивными и биостойкими покрытиями с применением плазменных технологий» является научно-квалификационной работой и соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» Минобрнауки России (в действующей редакции).

На заседании 29 января 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Гребенщиковой Марине Михайловне ученую степень доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение за решение научной проблемы, заключающейся в создании научно – технологических основ получения биомедицинских материалов, обладающих как биостойкими, так и биоактивными свойствами с применением плазменных технологий, а именно, технологии ионно-плазменного нанесения наноструктурированных покрытий и их модификации с помощью потока низкоэнергетических ионов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав

совета, проголосовал: «за» - 14, «против» - нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Л.Н. Абуталипова

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Н.В. Тихонова

29.01.2026 г.