**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИШНПТ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Высокоморный В.С.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

ПРИЕМ **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **ОЧНАЯ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Нанотехнологии и наноматериалы** | | | | |
|  |  | | | |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | | |
| Курс: аспирантура |  | | семестр |  |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  | |  | | |
| Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры | |  | | Клименов В.А. |
| Руководитель программы аспирантуры (ПА) | |  | | Хасанов О.Л. |

2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития материаловедения.

Направления исследований по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы:

Направления исследований:

1. Металлургия и материаловедение:

1.1. Технологические и экспериментальные исследования процессов получения наноматериалов и их обработки, в том числе посредством формирования наноструктур на подложках, объёмного модифицирования расплавов, пластической деформации, консолидации нанопорошков, модифицирования поверхности материалов, облучения ускоренными частицами, термической и термомеханической обработки; разработка технологий и оборудования.

1.2. Условия для формирования наномасштабных элементов в структуре объемных наноматериалов.

1.3. Исследование влияния параметров элементов структуры на свойства наноматериалов.

1.4. Исследование фазовых равновесий, фазовых переходов, поверхностных явлений в наноматериалах.

1.5. Исследование процессов временной устойчивости структур изделий из наноматериалов при их эксплуатации, процессов деградации наноструктур и разработка способов обеспечения долгоживучести наноструктур.

1.6. Исследование взаимосвязи химического и фазового составов, структурного состояния с физическими, механическими, химическими, технологическими, эксплуатационными и другими свойствами наноматериалов.

1.7. Исследование процессов нанесения функциональных наноструктурных покрытий на различные материалы и конструкции, разработка технологий и оборудования.

1.8. Исследование процессов обработки различных изделий с целью получения наноструктурных поверхностных функциональных слоев, разработка технологий и оборудования.

1.9. Разработка новых и совершенствования существующих методов анализа структуры и свойств наноматериалов.

1.10. Разработка и компьютерная реализация математических моделей при производстве, обработке, и переработке наноматериалов. Компьютерный анализ и оптимизация процессов.

1.11. Система управления качеством, сертификация и аккредитация наноматериалов и изделий из них, нанотехнологий, оборудования для их производства, обработки и переработки.

2. Химия и химическая технология:

2.1. Экспериментальные исследования процессов получения и технологии наноматериалов, формирования наноструктур на подложках, синтеза порошков наноразмерных простых и сложных оксидов, солей и других соединений, металлов и сплавов, в том числе редких и платиновых металлов.

2.2. Выявление влияния размерного фактора на функциональные свойства и качества наноматериалов.

2.3. Исследование фазовых равновесий и поверхностных явлений в наноматериалах.

2.4. Моделирование структуры, свойств и процессов получения наноматериалов.

2.5. Исследование процессов нанесения покрытий из наноструктурированных материалов на различные наполнители.

2.6. Совершенствование существующих и разработка новых методов анализа структуры и свойств наноматериалов.

2.7. Исследование структуры, свойств и технологии композиционных наноструктурированных материалов.

2.8. Исследование физико-химических свойств неорганических наполнителей.

2.9. Новые технологические процессы с участием наноструктурированных сред и наноматериалов.

3. Строительство:

3.1. Исследование технологии получения наноструктур строительного назначения (расплав, золь-гелевый синтез, молекулярный синтез, управляемая гидратация, супертонкое измельчение и др.).

3.2. Разработка и компьютерная реализация математических моделей для исследования структуры, свойств и процессов получения наноматериалов, используемых в строительстве.

3.3. Исследование технологии перемешивания и гомогенизации жидких смесей с нанодисперсными частицами, методов их активации и стабильности, реологических свойств.

3.4. Исследование влияния наносистем на процессы гидратации минеральных вяжущих веществ, разработка и исследование наноструктурированных вяжущих веществ и бетонов.

3.5. Исследование технологии, структуры и свойств наноструктурированных высокоплотных и высокопрочных строительных композитов, и бетонов, материалов специального назначения.

3.6. Разработка и исследование наномодификаторов структуры и свойств строительных материалов.

3.7. Исследование поведения наноматериалов при воздействии различных температур, влажности, агрессивных факторов и времени эксплуатации.

3.8. Разработка и исследование пленочных наносистем для повышения долговечности и архитектурной выразительности строительных материалов и конструкций.

3.9. Разработка и исследования углеродных, базальтовых, металлических, стеклянных, арамидных и других наноразмерных волокон и строительных композитов на их основе.

3.10. Разработка и исследование наноматериалов для ремонта и упрочнения строительных элементов, оснований и фундаментов.

3.11. Диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем, методов исследования наноструктуры материалов на основе дисперсных систем, в том числе исследование наноразмерных пустот в пористых системах.

1. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**Технологии получения наноматериалов**

Методы сверху-вниз и снизу-вверх. Дробление, травление, литография, самосборка, эпитаксия, синтез, функционализация поверхности.

Методы синтеза тонких пленок. Влияние методов получения на химическую структуру приповерхностных слоев. Методы химической функционализации приповерхностных слоев.

Нанотрубки, нановолокна: углеродные, из нитрида бора. Одностенные и многостенные нанотрубки. Типы проводимости нанотрубок. Физико-механические свойства нанотрубок.

2D-наноматериалы: графен, графеноподобные материалы, 2D-халькогениды переходных металлов, нитрид бора.

**Порошковые технологии наноматериалов**

Фундаментальное отличие масштаба наночастиц от размеров молекул и крупнокристаллических материалов.

Классификация материалов по размерам структурных элементов.

Классификация материалов по размерности структурных элементов.

Классификация типов объемных наноматериалов.

Влияние размеров частиц на удельную поверхность порошков.

Силы трения и методы их регулирования в процессах компактирования сухих порошков.

Влияние размеров частиц порошков на скорость усадки при спекании.

Быстрые методы консолидации нанопорошков с сохранением наноструктуры спеченных материалов.

Типы функциональных керамик и роль наноструктуры в формировании свойств керамик, композитов. Критические размеры зёрен в функциональных керамиках.

**Влияние размерного фактора наноструктур на их свойства**

Классические и квантовые механизмы, определяющие свойства наноструктур. Размерность наноструктур (2D, 1D, 0D).

Силы взаимодействия на наномасштабе. Равновесное расстояние между атомами. Зависимость сил от расстояния между атомами. Влияние наноструктуры поверхности на ее смачиваемость. Агломерация наночастиц. Коллоидные растворы.

Адсорбционные явления в наноструктурах. Пористость. Исследование адсорбционных явлений.

Транспорт носителей заряда, баллистический транспорт. Плотность состояний 2D, 1D, 0D структур. Зависимость запрещенной зоны от размера наноструктур (квантовые точки). Кулоновская блокада. Механизмы проводимости в нанокомпозитах. Влияние состояния поверхности на свойства наноматериалов. Потенциальные барьеры. Туннелирование. Перенос тепла в наноструктурах. Фононы, колебания, перенос тепла через границу раздела.

Оптические свойства наноструктур. Зависимость оптических свойств наноструктур от размера на модели потенциальной ямы. Оптические свойства металлических наноструктур. Локализованные плазмоны. Структурные цвета. Фотонные кристаллы. Распространяющиеся и локализованные поверхностные плазмоны. Типы магнитных материалов. Суперпарамагнетизм. Зависимость магнитных свойств от размера наночастиц. Гигантское магнитосопротивление. Спинтроника.

**Методы исследования свойств наноматериалов**

Сканирующая зондовая микроскопия и методы на ее основе. Атомно-силовая микроскопия. Принцип работы в контактном и полуконтактном режиме. Измерение сил взаимодействия на наномасштабе. Измерение механических, электрических, магнитных свойств на основе методик АСМ. Сканирующая туннельная микроскопия. Микроскопия зонда Кельвина.

Метод Ритвельда в РФА. Параметры дифрактограмм кристаллической решетки, характеризующие наличие нанокристаллитов.

Электронная микроскопия (просвечивающая и растровая). Рентгеновская энергодисперсионная спектроскопия.

Спектроскопические методы исследования. Спектроскопия комбинационного рассеяния, ИК спектроскопия, спектрофотометрия. Плазмон-усиленная спектроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия.

Исследование поверхности наноструктур. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

Электрохимические свойства наноматериалов. Вольтамперометрия.

Дзета-потенциал наночастиц. Динамическое рассеивание света.

**Принципы действия устройств на основе наноструктур**

Сенсоры (химические, биосенсоры), наноэлектронные устройства, наноэлектромеханические устройства. Тераностика. Генераторы энергии. Катализ. Фотоника.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,**

**включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

**Плазмонные наноструктуры**

Методы изготовления плазмонных наноструктур

Влияние формы, размера, материалов и плазмонных наноструктур на их оптические свойства

Фототермический нагрев плазмонных наноструктур. Механизмы.

Генерация горячих электронов в плазмонных наноструктурах

Механизмы плазмонного фотокатализа

**Комбинационное рассеяние (КР) света, гигантское комбинационное рассеяние света (ГКРС, англ. SERS и TERS)**

Электромагнитный и химический механизмы усиления КР сигналов

Методы моделирования и расчета электромагнитного усиления сигналов SERS и TERS

Экспериментальная оценка коэффициентов усиления SERS и TERS

SERS сенсоры. Функционализация поверхности с целью улучшения селективности сенсоров на основе SERS. SERS-метки для тераностических применений

**Двумерные наноматериалы**

Методы эксфолиации, переноса и осаждения двумерных наноматериалов

Металлические, полупроводниковые и изолирующие двумерные наноматериалы и их применения

Фотокаталитические и электрокаталитические свойства наноматериалов, в том числе двумерных

Влияние локальных деформаций и модификаций на химическую активность наноматериалов

Лазерная обработка наноматериалов

**Объёмные наноматериалы**

Типы нанокерамик, нанокомпозитов для различных функциональных назначений в электронике, фотонике, телекоммуникационных системах; в аэрокосмической, атомной, медицинской технике и в других отраслях; для датчиков сигналов, детекторов излучений.

Функционально-градиентные материалы.

MAX-фазы.

Метаматериалы.

**Методы современного наномасштабного анализа, в том числе химического**

Наноэлектрохимия

Методы наноспектроскопии (TERS, нано-ИК)

Методы нанооптики (ближнепольная оптическая микроскопия, измерение оптических свойств)

Методы на основе атомно-силовой микроскопии (микроскопия зонда Кельвина, микроскопия растекания тока, и т.д.)

Методы электронной микроскопии (сканирующей, просвечивающей). Методики достоверной количественной оценки размерных характеристик структурных элементов дисперсных фаз и особенности применения этих методов для исследования многомасштабных структур.

Энергодисперсионный микроанализ (EDS).

Метод лазерной дифракции для анализа размеров частиц.

**Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильных отделений / НОЦ, школ ТПУ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий**  **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие**  **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Барыбин, Анатолий Андреевич. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники : учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов. — Москва : Физматлит, 2011. — 784 с.: ил. — Библиогр.: с. 771-772. — Предметный указатель: с. 773-782. — ISBN 978-5-9221-1321-2.
2. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури ; художник С. Инфантэ. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 368 с. — ISBN 978-5-93208-550-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/176410 (дата обращения: 26.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Рамбиди, Николай Георгиевич. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди. — Москва : Интеллект, 2011. — 376 с.: ил. — Библиогр.: с. 375. — ISBN 978-5-91559-089-1.
4. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 252 с. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C224768>
5. Головин, Ю. И. Основы нанотехнологий / Ю. И. Головин. — Москва : Машиностроение, 2012. — 656 с. — ISBN 978-5-94275-662-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/5793 (дата обращения: 26.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Пул Ч.П., Оуэнс Ф.Дж. Нанотехнологии / : учеб. пособие : пер. с англ. / Пул Ч., Оуэнс Ф. ; ред. пер. Головин Ю. И., Лучинин В. В. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 334 с. : ил. - (Мир материалов и технологий). - Библиогр.: с. 327 и в конце гл. - ISBN 5-94836-021-0. – Текст: непосредственный
7. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : пер. с англ. : в 3 т. / Московский государственный институт электронной техники (Технический университет) (МИЭТ); под ред. Б. Бхушана. — Москва: Техносфера, 2010. — Мир материалов и технологий. — ISBN 978-5-94836-261-8. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C209902>
8. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 416 с. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/LANBOOK%5C2173>
9. Хасанов, О. Л. Сопротивление материалов. Твердость и трещиностойкость наноструктурных керамик : учебное пособие для вузов / О. Л. Хасанов, В. К. Струц, Э. С. Двилис. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 150 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01010-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/490469 (дата обращения: 30.05.2025).
10. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий : учебное пособие / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, З. Г. Бикбаева, А. А. Качаев. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 272 с. — ISBN 978-5-00101-716-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/135502 (дата обращения: 30.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
11. Метод коллекторного компактирования нано- и полидисперсных порошков: учебное пособие / О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, А.А. Качаев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 102 с. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m130.pdf>
12. Эффекты мощного ультразвукового воздействия на структуру и свойства наноматериалов : учебное пособие / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, В. В. Полисадова, А. П. Зыкова. — Томск : ТПУ, 2009. — 148 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/10364 (дата обращения: 30.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература**

1. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 . — Москва : Техносфера, 2013. — 688 с. — ISBN 978-5-94836-353-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/76156 (дата обращения: 30.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Нанобиотехнологии : практикум / под ред. А. Б. Рубина. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 384 с.: ил. — (Нанотехнологии). — Библиография в конце разделов. — ISBN 978-5-9963-0627-5.
3. Дьячков, П. Н. Электронные свойства и применение нанотрубок : монография / П. Н. Дьячков. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 491 с. — ISBN 978-5-00101-842-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/135543 (дата обращения: 30.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гаршин, А. П. Материаловедение. Техническая керамика в машиностроении : учебник для вузов / А. П. Гаршин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 296 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01484-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/512743 (дата обращения: 30.05.2025).