

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

2020 г.

Регистрационный № УД 8953 уч.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МИКРО- И НАНОМЕХАНИКИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности**

1-31 80 04 Механика и математическое моделирование

Профилизация: Теоретическая и прикладная механика

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2019 и учебного плана № G31-019/уч., утвержденного 11.04.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Богданович А.В., профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Голякевич С.А. – доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент.

Юркевич К.С. – доцент кафедры биомеханики и наномеханики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол №11 от 16.06.2020);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 5 от 17.06.2020)

Зав. кафедрой _____

М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» является повышение общепрофессионального уровня подготовки, получение новых знаний по специальным разделам современной механики, в том числе методам экспериментального определения физико-механических и иных свойств материалов и изделий на микро- и наноуровне.

Задачами дисциплины «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» являются:

- формирование установки на творческую профессиональную деятельность;
- знакомство с экспериментальными методами микро- и наномеханики как разделом механики;
- развитие профессионального мышления в области экспериментальных методов микро- и наномеханики, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути их решения и методу осуществления решений;
- воспитание активной профессиональной позиции, умения вырабатывать и обосновывать свой подход в решении задач.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится **к модулю** «Механика микро- и наносистем» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Данная дисциплина опирается и использует знания ранее изучаемых дисциплин: «Сопротивление материалов и основы строительной механики», «Механика сплошной среды».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» должно обеспечить формирование **специализированной компетенции**:

СК-9: Применять современные методы механики, математического моделирования, экспериментальные методы к исследованию механических процессов и состояний микро- и наносистем.

В результате изучения студент должен:

знать:

- экспериментальные методы микро- и наномеханики исследования современных конструкционных материалов, включая наноструктурированные и с тонкими покрытиями,
- современные подходы и методы к построению механико-математических моделей экспериментальной механики на микро- и наноуровне;
- структуру, физико-механические свойства, области применения современных конструкционных наноматериалов;

уметь:

- применять полученные знания для обоснованного выбора современных конструкционных материалов, включая наноструктурированные и с тонкими покрытиями, а также расчета элементов машин и конструкций из таких материалов, работающих в условиях переменных нагрузок, трения, комбинированных воздействий;

владеть:

- методами экспериментального исследования свойств материалов тонкими методами на микро- и наноуровне.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 36 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 14 часов, управляемая самостоятельная работа - 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Наноматериаловедение. Нанокластеры и наноструктуры

Введение в экспериментальную микро- и наномеханику. Наноразмерный фактор в материаловедении. Специфика наноматериалов и нанотехнологий. Нанокластеры: методы синтеза, структура и свойства, теоретическая модель. Наноструктуры: классификация, материалы одномерных наноструктур. Углеродные нанотрубки и фуллерены. Двумерные и трехмерные наноструктуры.

Тема 2. Конструкционные наноматериалы

Наночастицы и нанопорошки. Тонкопленочные структуры. Нанокристаллические материалы. Нанокпозиционные материалы. Функциональные наноматериалы. Физико-механические свойства наноматериалов.

Тема 3. Микротвердость и наноиндентирование

Методы и оборудование для испытания на микротвердость. Методы наноиндентирования и решаемые при этом задачи. Оборудование для наноиндентирования. Информационные возможности наноиндентирования.

Тема 4. Методы измерения механических свойств наноструктурных объектов

Измерение механических свойств нанотрубок. Применение дискретно-континуальных моделей в прототипах метрологических систем.

Тема 5. Сканирующая зондовая микроскопия

Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Особенности механического поведения кантилеверов атомно-силовых микроскопов. Механическая модель контактного взаимодействия измерительного элемента атомно-силового микроскопа с исследуемой поверхностью.

Тема 6. Автоионная и электронная микроскопия

Автоионная микроскопия. Методы и возможности электронной микроскопии. Базовая конструкция сканирующего электронного микроскопа и источники электронов. Электронные пучковые взаимодействия: вторичные электроны, обратно рассеянные электроны, рентгеновские лучи.

Тема 7. Спектроскопические методы

Ядерный магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс. ИК- и КР-спектроскопия. Рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия. Мессбауэровская спектроскопия. Дифракционные методы исследования.

Тема 8. Оптическая микроскопия

Основы метода. Компоненты оптического микроскопа. Наблюдение под микроскопом. Подготовка образцов. Некоторые типичные микроструктуры исследуемых конструкционных материалов. Современные оптические микроскопы, цифровые видеокамеры и программное обеспечение.

Тема 9. Экспериментальные методы в микро- и наноэлектронике и нанотрибологии

Особенности конструкции, производства и механических испытаний микросхем и других полупроводниковых приборов. Перспективы квантовой и молекулярной микроэлектроники. Производство микро- и наноприборов, машин, аппаратов и материалы для них. Наноструктурные материалы в ядерной энергетике и аэрокосмической отрасли, особенности их испытаний.

Нанотрибология: основные понятия, методы исследования, приборы, области применения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Наноматериаловедение. Нанокластеры и наноструктуры	2						Устный опрос
2	Конструкционные наноматериалы	2			2			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3	Микротвердость и наноиндентирование	2			4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
4	Методы измерения механических свойств наноструктурных объектов	2						Устный опрос, защита научно-исследовательских эссе
5	Сканирующая зондовая микроскопия	2					2	Контрольная работа
6	Автоионная и электронная микроскопия	2						Устный опрос,

								защита научно-исследовательских эссе
7	Спектроскопические методы	2			2			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
8	Оптическая микроскопия	2			4		2	Устный опрос, отчет по лабораторной работе
9	Экспериментальные методы в микро- и наноэлектронике и нанотрибологии	2			2			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
	Итого	18			14		4	

ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. *Витязь, П.А.* Наноматериаловедение : учеб. пособие / *П.А. Витязь, Н.А. Свидунович, Д.В. Куис.* – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 511 с.
2. Экспериментальная механика: В 2 кн. Пер. с англ. под ред. *А. Кобаяси.* – М. : Мир, 1990. – Книга 1. – 616 с. – Книга 2. – 552 с.
3. *Гольдштейн, Р.В.* Механика микро- и наноструктур. Наноиндентирование: учеб. пособие / *Р.В. Гольдштейн.* – М. : МФТИ, 2011. – 160 с.
4. *Кривцов, А.М.* Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой / *А.М. Кривцов.* – М.: Физматлит, 2007. – 304с.
5. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Серия: Мир электроники. Сб-к статей. Ред. *П.П. Мальцев.* – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2005., – 592 С.
6. *C. Suryanarayana.* Experimental Techniques in Materials and Mechanics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 430 p.
7. *Попов, В.Л.* Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений / *В.Л. Попов.* — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 352 с.
8. *Богданович, А.В.* Лабораторный практикум по экспериментальной механике: Учеб.-методич. пособие для магистрантов ММФ / *А.В. Богданович, С.С. Щербаков, Д.Е. Мармыш.* –Минск : БГУ, 2017. – 107 с.

Перечень дополнительной литературы

1. *Кривцов, А.М.* О механических характеристиках наноразмерных объектов / *А.М. Кривцов, Н.Ф. Морозов* // Физика твердого тела, 2002, Т.44, В.12. – С.2158-2163.
2. *Калмыков, К.Б.* Сканирующая электронная микроскопия и рентгено-спектральный анализ неорганических материалов: методическое пособие / *К.Б. Калмыков, Н.Е. Дмитриева.* – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. – 59 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчет по лабораторной работе с устной защитой;
- устный опрос на аудиторных занятиях;
- защита научно-исследовательских эссе;
- контрольная работа.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) и лабораторных занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Оценка эссе формируется на основе следующих критериев: оригинальность (новизна) постановки проблемы и способа ее интерпретации/решения, самостоятельность и аргументированность суждений, грамотность и стиль изложения.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Экспериментальные методы микро- и наномеханики» учебным планом предусмотрен зачет.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.).
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (приказ ректора БГУ № 189-ОД от 31.03.2020)
3. Критерии оценки студентов (10 баллов) (Письмо Министерства образования Республики Беларусь от 22.12.2003 № 21-04-1/105).

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- ответы при устном опросе – 10 %;
- отчеты по лабораторной работе с устной защитой – 30 %;
- защита научно-исследовательских эссе – 20 %;
- контрольная работа – 40%.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40%, экзаменационная оценка – 60%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 5. Сканирующая зондовая микроскопия.

Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Особенности механического поведения кантилеверов атомно-силовых микроскопов. Механическая модель контактного взаимодействия измерительного элемента атомно-силового микроскопа с исследуемой поверхностью.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 8. Оптическая микроскопия.

Пояснить основы метода. Компоненты оптического микроскопа. Наблюдение под микроскопом. Особенности подготовки образцов и типичные микроструктуры исследуемых конструкционных материалов. Современные оптические микроскопы, цифровые видеокамеры и программное обеспечение.

Форма контроля – устный опрос.

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная работа №1. Конструкционные наноматериалы.

Лабораторная работа №2. Подготовка образцов для исследования микротвердости.

Лабораторная работа №3. Исследование микротвердости поверхности стального образца.

Лабораторная работа №4. Исследование материалов методом рентгеновской спектроскопии.

Лабораторная работа №5. Подготовка образцов для исследования под инвертированным оптическим микроскопом.

Лабораторная работа №6. Экспериментальное исследование микроструктуры образцов с помощью инвертированного оптического микроскопа.

Лабораторная работа №7. Исследование материалов методами нанотрибологии.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

«Экспериментальные методы микро- и наномеханики»

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к лекциям и лабораторным занятиям;
- работы, предусматривающие подготовку: отчетов по лабораторным работам с устной защитой и защиты научно-исследовательских эссе.

Тем самым, имеется в виду постепенное превращение обучения в самообучение, когда магистрант должен получать знания главным образом за счет креативной самостоятельной работы, самостоятельно осуществляя поиск необходимой информации и созидательно прорабатывая ее с тем, чтобы выполнить необходимые умозаключения и получить результаты.

В этом случае, выполняя учебные задачи, магистранты самостоятельно приобретают новые знания, навыки и умения (в частности, умение анализировать и принимать решения в нестандартных ситуациях), что очень важно для эффективной будущей самостоятельной профессиональной деятельности.

Тематика научно-исследовательских эссе

- Особенности подготовки образцов и типичные микроструктуры исследуемых конструкционных материалов.
- Углеродные нанотрубки и фуллерены.
- Физико-механические свойства наноматериалов.
- Рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия.
- Перспективы квантовой и молекулярной микроэлектроники.
- Наноструктурные материалы в современном машиностроении.

Научно-исследовательские эссе защищаются путем презентации результатов выполнения работы, которая должна содержать: постановку проблемы и основные цели работы; перечень задач, которые необходимо решить для достижения основной цели; подходы к решению сформулированных задач; алгоритмы и примеры численной реализации: выводы и заключение.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Введение в экспериментальную микро- и наномеханику. Наноразмерный фактор в материаловедении. Специфика наноматериалов и нанотехнологий.
2. Нанокластеры: методы синтеза, структура и свойства, теоретическая модель. Наноструктуры: классификация, материалы одномерных наноструктур.
3. Углеродные нанотрубки и фуллерены. Двумерные и трехмерные наноструктуры.
4. Наночастицы и нанопорошки. Тонкопленочные структуры. Нанокристаллические материалы.
5. Нанокпозиционные материалы. Функциональные наноматериалы. Физико-механические свойства наноматериалов.
6. Методы и оборудование для испытания на микротвердость.
7. Методы наноиндентирования и решаемые при этом задачи. Оборудование для наноиндентирования. Информационные возможности наноиндентирования.
8. Измерение механических свойств нанотрубок. Применение дискретно-континуальных моделей в прототипах метрологических систем.
9. Сканирующая туннельная микроскопия.
10. Атомно-силовая микроскопия. Особенности механического поведения кантилеверов атомно-силовых микроскопов.
11. Механическая модель контактного взаимодействия измерительного элемента атомно-силового микроскопа с исследуемой поверхностью.
12. Автоионная микроскопия. Методы и возможности электронной микроскопии.
13. Базовая конструкция сканирующего электронного микроскопа и источники электронов. Электронные пучковые взаимодействия: вторичные электроны, обратно рассеянные электроны, рентгеновские лучи.
14. Ядерный магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс.
15. ИК- и КР-спектроскопия. Рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия.
16. Мессбауэровская спектроскопия. Дифракционные методы исследования.
17. Основы метода оптической микроскопии. Компоненты оптического микроскопа. Наблюдение под микроскопом. Подготовка образцов.
18. Некоторые типичные микроструктуры исследуемых конструкционных материалов. Современные оптические микроскопы, цифровые видеокамеры и программное обеспечение.
19. Особенности конструкции, производства и механических испытаний микросхем и других полупроводниковых приборов.
20. Перспективы квантовой и молекулярной микроэлектроники. Производство микро- и наноприборов, машин, аппаратов и материалы для них.

21. Наноструктурные материалы в ядерной энергетике и аэрокосмической отрасли, особенности их испытаний.
22. Нанотрибология: основные понятия, методы исследования, приборы, области применения.

ПРОТОКОЛ

СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Механика современных материалов	Теоретической и прикладной механики	Нет	Вносить изменения не требуется (протокол № 11 от 16.06.2020)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на ____/____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
Теоретической и прикладной механики (протокол № ____ от ____ 202__ г.)

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

(подпись) М.А. Журавков
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

д-р. физ.-мат. наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

(подпись) С.М. Босяков
(И.О.Фамилия)