

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г.Прохоренко



Регистрационный № УД- 2685/м.

ТЕОРИЯ ПРОЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ НАНОСТРУКТУР

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

7-06-0533-06 Механика и математическое моделирование

Профилизация: Теоретическая и прикладная механика

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-06-0533-06-2023, учебного плана №М54-5.4-44/уч. от 15.02.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Журавков М.А., заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

Чумак Н.Г., доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

Николайчик М.А., доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

РЕЦЕНЗЕНТ:

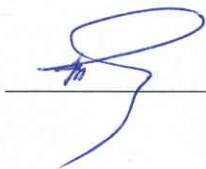
Василевич Ю.В., доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Теоретическая механика и механика материалов машиностроительного факультета БНТУ.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики БГУ
(протокол № 11 от 26.04.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 7 от 30.04.2024)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Теория прочности и разрушения наноструктур» – формирование у магистрантов основополагающий знаний и навыков построения механико-математических моделей наноструктур методами механики деформируемого твердого тела и механики разрушения, развитие профессионального мышления для самостоятельного решения практических задач.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение методов оценки состояния материалов с нанопокрывтиями с учетом внутренней структуры на основе подходов мезомеханики и механики деформируемого твердого тела;
- изучение методов прогнозирования множественных дефектов на основе методов механики деформируемого твердого тела и механики разрушения, решение соответствующих модельных задач;
- выработка навыков практического использования современных комплексов автоматического проектирования для исследования напряженно-деформированного состояния наноструктур.

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

Учебная дисциплина «Теория прочности и разрушения наноструктур» относится к циклу дисциплин профилизации «Теоретическая и прикладная механика» модуля «Механика микро- и наносистем» (компонент учреждения высшего образования).

Дисциплина «Теория прочности и разрушения наноструктур» связана со следующими дисциплинами: «Теория пластин и оболочек», «Механика сплошной среды», «Математические методы механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Теория прочности и разрушения наноструктур» 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 освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- классификацию наноструктур;
- особенности моделирования наноструктур в рамках дискретно-континуальных моделей;
- основные положения теории композиционных материалов;
- теории прочности различных наноструктур;
- модели поведения твердого деформируемого тела с трещинами.

уметь:

- используя изученные механико-математические модели моделировать различные наноструктуры;
- решать прикладные задачи исследования прочности наноструктур;
- рассчитывать основные параметры разрушения;

иметь навык:

- работы с современными программными комплексами численного решения математических и прикладных задач механики.

Структура учебной дисциплины

Учебная дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение дисциплины «Теория прочности и разрушения наноструктур» по учебному плану специальности отведено: 90 часов, в том числе аудиторных – 36 часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 18 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет – 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачёт.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Основные механико-математические модели наноструктур

Понятие наноматериалов и наноструктур. Многомасштабное моделирование. Дискретно-континуальные модели. Атомарные модели, модели дискретных слоев (композиты), континуальные модели.

Тема 2. Стержневая модель

Взаимодействие атомов гексагональной плоскости. Химические связи и стержневая модель взаимодействия атомов углерода. Построение стержневой модели углеродной нанотрубки. Расчет физико-механических параметров стержневой системы. Расчет напряженно-деформированного состояния углеродной нанотрубки. Моделирование дислокаций и прочностные расчеты углеродной нанотрубки.

Тема 3. Композиционные материалы

Основные положения теории слоистых пластин. Виды композиционных материалов. Композитный монослой. Деформации, силы и моменты, матрицы жесткости, напряжения слоистого композита. Теории прочности. Методы прогнозирования прочности слоистого композита. Метод последовательного разрушения слоев. Метод накопления микрповреждений. Расслоение композитов с использованием модели когезивной зоны. Моделирование трещин. Задачи распространения трещин в композите с учетом статистической неопределенности и неполноты исходных данных. Расчет композитов в программном комплексе Ansys CompositePrepPost.

Тема 4. Континуальные модели

Континуальные модели для расчета наноструктур. Расчет напряженно-деформированного состояния углеродной нанотрубки. Моделирование расслоения нанотрубок с использованием когезивной модели. Модели накопления повреждений. Детерминировано-вероятностные подходы к изучению повреждений в структурно-неоднородных средах. Критерии разрушения тел с трещинами. Моделирование и расчет трещин в программном комплексе Ansys Workbench.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Кол-во часов УСП	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Основные механико-математические модели наноструктур	2						Устный опрос
2	Стержневая модель	4			6			Собеседование, устный опрос, отчет по лабораторным работам с устной защитой
3	Композиционные материалы	6			6			Собеседование, устный опрос, отчет по лабораторным работам с устной защитой
4	Континуальные модели	6			6			Собеседование, устный опрос, отчет по лабораторным работам с устной защитой
	Итого	18			18			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Журавков М. А. Математические модели механики твердых тел: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Механика и математическое моделирование", "Физика (по направлениям)", "Промышленное и гражданское строительство", "Автомобильные дороги" / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов; БГУ. - Минск: БГУ, 2021. - 535 с.

2. Наноматериалы. Свойства и сферы применения : учебник для вузов / Г. И. Джардималиева, К. А. Кыдралиева, А. В. Метелица, И. Е. Уфлянд. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021. – 199 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/166935>.

3. Дудяк, А. И. Механика материалов : учебно-методическое пособие по учебной дисциплине "Механика материалов" / А. И. Дудяк, Ж. Г. Дикан, Ю. В. Василевич ; М-во образования Республики Беларусь, БНТУ, Кафедра "Теоретическая механика и механика материалов". – Минск : БНТУ, 2023. – 107 с.

Дополнительная литература

1. Zhuravkov M., Lyu Y., Starovoitov E. Mechanics of Solid Deformable Body. Springer. 2023. - 317p.

2. Репченков В.И., Нагорный Ю.Е. // Физические основы метода конечных элементов. – Минск: БГУ, 2009 – 97 с.

3. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. London. 1991. No. 354. P. 56-58.

4. Ченцов А.В. Разработка дискретно-континуальных моделей деформирования и разрушения наноматериалов. 2008

5. Odegard G.M., Gates T.S., Nicholson L.M., Wise K.E. Equivalent-Continuum Modeling with application to Carbon Nanotubes // NASA Langley Research Center: Technical Memorandum NASA/TM-2002-211454. 2002.

6. Андриевский Р.А., Глезер А.М. Прочность наноструктур. УФН, 179, 337 (2009).

7. Гольдштейн Р.В., Ченцов А.В., Кадушников Р.М., Штуркин Н.А. Методы и метрологическое обеспечение механических испытаний нано- и микромасштабных объектов, материалов и изделий нанотехнологий // Российские Нанотехнологии. – 2008. – Том. 3. – № 1-2. – С. 114-124.

8. Баренблатт Г.И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении // Журнал прикладной механики и технической физики. 1961. № 4. С.3-56.

9. Хульт Я. Поврежденность и распространение трещин. // В кн. Механика деформируемых твердых тел: направления развития. - М.: Мир, 1983. - С. 230 – 243.

10. Anderson, T.L. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications / T.L. Anderson. – Boca Raton: CRC Press, 1991. – 794 p.
11. Кассенти Б.Н. Вероятностный анализ статического разрушения композиционных материалов // Аэрокосм. Техника. 1984. т.2, №8. С.151-161.
12. Броек Д. “Механика разрушения”. – М.: Наука.1994г.
13. Аннин Б.Д., Баимова Ю.А., Мулюков Р.Р. Механические свойства, устойчивость, коробление графеновых листов и углеродных нанотрубок (обзор) // Прикладная механика и техническая физика. 2020. Т.61, №5. С.175-189.
14. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии: Учебное пособие / Азаренков Н. А., Береснев В. М., Погребняк А. Д., Маликов Л. В., Турбин П. В. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2019 – 209 с.
15. Алиева Н.З., Русляков. Д.В. Наноматериалы и нанотехнологии в лёгкой промышленности: учеб. пособие. Ч.1. / Н.З. Алиева, Д.В. Русляков. – Новочеркасск: Лик, 2019 – 152 с.
16. Прочность и механизмы разрушения наноструктурированных металлических материалов при однократных видах нагружения / Г. В. Клевцов [и др.]. - (Разрушение). - // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2019. - № 9. - С. 54-62.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущего контроля: устный опрос, собеседование, отчет по индивидуальным работам / лабораторным работам с устной защитой.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Теория прочности и разрушения наноструктур» учебным планом предусмотрен зачёт.

Примерная тематика лабораторных занятий

Тема 2.

1. Построение стержневой модели нанотрубки в программном комплексе конечно-элементного моделирования Ansys Workbench.
2. Прочностный расчет модели.
3. Моделирование дислокаций и прочностный расчет.

Тема 3.

1. Моделирование композитов в программном комплексе Ansys CompositePrepPost.
2. Прочностный расчет модели.
3. Расслоение композитов с использованием модели когезивной зоны.

Тема 4.

1. Расчет напряженно-деформированного состояния углеродной нанотрубки в Ansys Workbench.
2. Моделирование расслоения нанотрубок с использованием когезивной модели.
3. Моделирование и численный расчет трещин встроенными функциями Fracture->premeshed crack, arbitrary crack, semielliptical crack.
4. Моделирование роста трещин встроенными функциями Fracture->SMART.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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 сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы

При изучении дисциплины организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

1. Внеаудиторная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
2. Аудиторная самостоятельная работа при выполнении магистрантом учебных и творческих задач.
3. Творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории необходимо контролировать усвоение материала основной массой магистрантов путем проведения экспресс-опросов по конкретным темам.

На лабораторных занятиях различные виды самостоятельной работы позволяют сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части магистрантов в группе.

Результативность самостоятельной работы во многом определяется наличием активных методов ее контроля. Существуют следующие виды контроля:

- входной контроль знаний и умений магистрантов при начале изучения очередной дисциплины;
- текущий контроль, то есть регулярное отслеживание уровня усвоения материала на лекциях и лабораторных занятиях;
- промежуточный контроль по окончании изучения раздела или модуля курса;
- самоконтроль, осуществляемый магистрантом в процессе изучения дисциплины при подготовке к контрольным мероприятиям;
- итоговый контроль по дисциплине в виде зачета или экзамена;

Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Понятие наноматериалов и наноструктур.
2. Многомасштабное моделирование.
3. Дискретно-континуальные модели.
4. Атомарные модели.
5. Модели дискретных слоев (композиты).
6. Континуальные модели.
7. Взаимодействие атомов гексагональной плоскости.
8. Химические связи и стержневая модель взаимодействия атомов углерода.
9. Построение стержневой модели углеродной нанотрубки.
10. Расчет физико-механических параметров стержневой системы.
11. Моделирование дислокаций и прочностные расчеты углеродной нанотрубки.
12. Основные положения теории слоистых пластин.
13. Виды композиционных материалов.
14. Композитный монослой.
15. Деформации, силы и моменты, матрицы жесткости, напряжения слоистого композита.
16. Теории прочности.
17. Методы прогнозирования прочности слоистого композита.
18. Метод последовательного разрушения слоев.
19. Метод накопления микрповреждений.
20. Расслоение композитов с использованием модели когезивной зоны.
21. Моделирование трещин.
22. Задачи распространения трещин в композите с учетом статистической неопределенности и неполноты исходных данных.
23. Расчет композитов в программном комплексе Ansys CompositePrePost.
24. Континуальные модели для расчета наноструктур.
25. Расчет напряженно-деформированного состояния углеродной нанотрубки.
26. Моделирование расслоения нанотрубок с использованием когезивной модели.
27. Модели накопления повреждений.
28. Критерии разрушения тел с трещинами.
29. Моделирование и расчет трещин в программном комплексе Ansys Workbench.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной 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)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

26. 04 2024 г.


(подпись)

Н. А. Журавков
(И.О.Фамилия)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО
на ____ / ____ учебный год

№п/ п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
