

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета
А.Д.Король

15 июля 2024 г.

Регистрационный № 1961/м.

МЕХАНИКА НЕУПРУГОГО И НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Учебная программа учреждения 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 и учебного плана № М54-5.4-44/уч. от 15.02.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Чигарев Анатолий Власович – профессор кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Василевич Юрий Владимирович - доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической механики и механики материалов Белорусского национального технического университета

Журавков Михаил Анатольевич - доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедры теоретической и прикладная механика Белорусского государственного университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики БГУ
(протокол № 12 от 28.06.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой



Ботогова М.Г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью преподавания учебной дисциплины «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» является формирование основ теории пластичности, ползучести и методов расчета напряженно-деформированного состояния твердых тел в условиях пластического состояния.

Задачами учебной дисциплины «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» являются:

✓ Формирование у студентов основных понятий по теории пластичности и ползучести;

✓ Знакомство с различными методами расчета напряженно-деформированного состояния твердых тел в условиях пластического состояния.

✓ Знакомство с прикладными приложениями задач механики сплошных сред, новейшими достижениями в области механики деформируемого твердого тела

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

Учебная дисциплина «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» относится к государственному компоненту и входит в модуль «Актуальные вопросы современной механики».

Связь с другими дисциплинами. Программа дисциплины «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Теория упругости», «Основы механики сплошных сред», «Физика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующей углубленной профессиональной компетенции:

- Формулировать и решать актуальные и значимые проблемы механики деформированного твердого тела.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен

знать:

– предмет механики неупругого и нелинейного деформирования твердого тела;

– основополагающие понятия, определения и теоремы механики сплошных сред (далее - МСС);

– основные модели в теории упругости, пластичности, вязкоупругости;

– модели изотропных и анизотропных деформируемых твердых сред;

– модели линейного и нелинейного упругого тела, пластического тела, реологические модели;

– приближенные аналитические и численные методы решения задач упругости, пластичности, вязкоупругости;

уметь:

- применять аналитические, приближенные и численные методы для решения задач механики неупругого и нелинейного деформирования твердого тела
- разрабатывать на их основе алгоритмы и расчетные схемы решения различных классов прикладных задач механики неупругого и нелинейного деформирования твердого тела;
- проводить анализ полученных результатов, сравнения с экспериментами, формулировать выводы и заключения;

иметь навык:

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач механики неупругого и нелинейного деформирования твердого тела.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» отведено:

- для очной формы получения углубленного высшего образования – 198 часов, в том числе 72 аудиторных часов, из них: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации - экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Идеально пластическое тело

Тема 1.1. Пластический потенциал и ассоциированный закон пластического течения.

Идеальная пластичность. Условие пластичности. Принцип максимума в пространстве напряжений. Пластический потенциал и ассоциированный закон пластического течения. Принципы максимума в пространстве скоростей пластический деформаций. Диссипативная функция и ассоциированный закон нагружения. Экстремальные свойства условий пластичности.

Тема 1.2. Уравнения деформирования тел за пределом упругости.

Гипотеза прочности формирования. Кусочно-линейные условия пластичности. Уравнения деформирования тел за пределом упругости. Соотношения изотропии и обобщенный ассоциированный закон пластического течения. Свойства уравнений при условии полной пластичности.

Тема 1.3. Плоские течения идеально пластической среды. Осесимметричная задача и проба Бринеля.

Плоская задача теории идеальной пластичности. Вдавливание штампа. Плоские течения идеально пластической среды. Осесимметричная задача и проба Бринеля. Начальное пластическое течение при внедрении сферического индентора в жестко пластическое полупространство. Сдавливание слоя шероховатыми плитами.

Раздел 2. Упрочняющееся пластическое тело. Сложные среды.

Тема 2.1. Упрочнение и разупрочнение.

Упрочнение и разупрочнение. Поверхность нагружения. Функция нагружения. Нагружение и разгрузка. Принцип максимума в пространстве напряжений. Ассоциированный закон деформирования. Деформированные теории пластичности. Диссипативная функция. Принцип максимума в пространстве. Скорости деформации.

Тема 2.2. Плоская деформация при наличии линейного упрочнения.

Плоская деформация при наличии линейного упрочнения. Модели сложных сред. Влияние вязкости на механическое поведение. Диссипативная функция в теории пластичности.

Тема 2.3. Об остаточных напряжениях при кручении.

О равнопрочном сечении балки. Об остаточных напряжениях при кручении. Трение качения. Качение жестких и пневматических колес по грунту. Прокатка и волочение при больших скоростях. Удар вязкопластического стержня о жесткую преграду.

Раздел 3. Линеаризованные задачи жесткопластического анализа.

Тема 3.1. Растяжение полосы, ослабленной выточками.

Растяжение полосы переменного сечения. Растяжение полосы, ослабленной выточками. Растяжение цилиндрического стержня.

Деформирование полого цилиндра. Напряженное состояние около сферической полости. Сдавливание круглого в плане пластического слоя шероховатыми пластинами. Устойчивость вязкопластического течения полосы, стержня, круглой пластины.

Раздел 4. Основы теории ползучести

Тема 4.1. Теория наследственности Больцмана-Вольтерра.

Основы линейной теории вязкоупругости. Модели вязкоупругого поведения материалов. Теория наследственности Больцмана-Вольтерра. Сложное напряженное состояние. Плоский изгиб балки.

Тема 4.2. Установившаяся ползучесть балки при чистом изгибе.

Ползучесть металлов. Определяющие одномерные уравнения. Установившаяся ползучесть балки при чистом изгибе. Установившаяся ползучесть стержня при кручении. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Ползучесть толстостенной трубы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Идеально пластическое тело	12			10			
1.1	Пластический потенциал и ассоциированный закон пластического течения.	4			4			Собеседование
1.2	Уравнения деформирования тел за пределом упругости.	4			2			Собеседование
1.3	Плоские течения идеально пластической среды. Осесимметричная задача и проба Бринеля.	4			4			Собеседование, контрольная работа по теме 1.
2	Упрочняющееся пластическое тело. Сложные среды.	12			10			
2.1	Упрочнение и разупрочнение.	4			4			Собеседование, отчет по домашним практическим упражнениям

2.2	Плоская деформация при наличии линейного упрочнения.	4				2		Собеседование, отчет по домашним практическим упражнениям
2.3	Об остаточных напряжениях при кручении.	4				4		Собеседование, отчет по домашним практическим упражнениям, контрольная работа по теме 2
3	Линеаризованные задачи жесткопластического анализа.	4				6		
3.1	Растяжение полосы, ослабленной выточками	4				6		Опрос
4	Основы теории ползучести	8				10		
4.1	Теория наследственности Больцмана-Вольтерра.	4				4		Собеседование, отчет по домашним практическим упражнениям
4.2	Установившаяся ползучесть балки при чистом изгибе.	4				6		Собеседование, отчет по домашним практическим упражнениям,
	Всего по курсу	36				36		

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. Молотников, В. Я. Теория упругости и пластичности : учебное пособие [для вузов] / В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 528 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/209966>.
3. Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. Г. Козел, А. В. Нестерович ; М-во транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, УО "Белорусский гос. ун-т транспорта". - Гомель : БелГУТ, 2024. - 395

Дополнительная литература

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968.
2. Соколовский В.В. Теория пластичности. –М.: Высшая школа, 1969. – 605 с.
3. Толоконников Л.А. Механика деформированного твердого тела. –М.: Высшая школа, 1979. – 309 с.
4. Chigarev A., Ju.Rays. Propagation in Ihomogeneous Media // Encyclopedia of Continuum Mechanics. – 2019. – Springer. – P. 1-17.
5. Hama Sheelon. Theory of Plasticity. –University of Anbar, 2018.
6. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. – М.: Физматлит, 2002. -701с.
7. Быковцев Г.И., Ивлев Д.Д.Теория пластичности. – Владивасток: Дальнаука. 1998. - с.
8. Друянов Б.А., Непершин Р.И. Теория технологической пластичности. –Мн.:Машиностроение, 1990.
9. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948.
10. Старовойтов Э.И. Основы теории упругости и пластичности. –Гомель, 2001.
11. Поленов В.С., Чигарев А.В. Распространение сферически-симметричных волн в двухкомпонентных пористых средах // Теоретическая и прикладная механика – 2019. - № 34 – С.150-153.
12. Непершин Р.И. Прикладные проблемы пластичности. –М.: МГТУ. <Станкин>, 2018.

13. Chigarev A., Ju.Rays. Propagation in Ihomogeneous Media // Encyclopedia of Continuum Mechanics. – 2019. – Springer. – P. 1-17.

Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по домашним практическим упражнениям с их устной защитой;
- контрольные работы;
- собеседования;

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

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.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- Собеседование – **30 %**;
- отчеты по домашним практическим упражнениям с их устной защитой – **30%**
- контрольные работы – **40 %**.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 40 % и экзаменационной отметки 60 %.

Примерный перечень заданий для контрольной работы

Тема 1.3. Плоские течения идеально пластической среды. Осесимметричная задача и проба Бринеля. (2 ч)

Примеры вопросов

1. Вдавливание штампа в пластическую среду.
2. Вдавливание конического индентора.
3. Вдавливание сферического индентора.

Форма контроля – контрольная работа №1.

Тема 2.3. Об остаточных напряжениях при кручении. (2 ч.)

Примеры вопросов

1. Сдавливание слоя шероховатыми плитами.
2. Качение жестких и пневматических колес.
3. Удар стержня о преграду.

Форма контроля – контрольная работа №2.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие №1. Растяжение полосы переменного сечения.

Занятие №2. Растяжение полосы с выточками.

Занятие №3. Растяжение стержня.

Занятие №4. Расчет напряжений в цилиндре.

Занятие №5. Расчет напряжений вблизи сферических полостей.

Занятие №6. Ползучесть балки, толстостенной трубы под действием внутреннего давления.

Занятие №7. Расчет напряжений в конических телах.

Занятие №8. Устойчивость вязкопластического течения полосы и стержня

Занятие №9 Сдавливание круглого в плане слоя шероховатыми плитами.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной решаемой задаче (проблеме), а также *методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Использование методов обеспечивает появление нового уровня понимания использования неклассических моделей механики и их практического

применения при решении конкретных задач в механике сплошных нелинейных и неупругих сред.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

В овладении знаниями учебной дисциплины важным этапом является самостоятельная работа магистрантов. Рекомендуются бюджет времени для самостоятельной работы в среднем 2-2,5 часа на 2-х часовое аудиторное занятие.

Условно самостоятельную работу магистранта можно разделить на обязательную и контролируемую. Обязательная самостоятельная работа обеспечивает подготовку магистра к текущим аудиторным занятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности магистранта на занятиях и качественном уровне сделанных докладов, выполненных контрольных работ, тестовых заданий и др. форм текущего контроля. Баллы, полученные магистрантом по результатам аудиторной работы, формируют рейтинговую оценку текущей успеваемости магистра по дисциплине. В целях фиксации текущей успеваемости магистранта и, что особенно важно, результатов их самостоятельной работы целесообразно активно использовать рейтинговую систему оценки успеваемости каждого магистранта. Контролируемая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний магистранта, развитие аналитических навыков по проблематике учебной дисциплины. Подведение итогов и оценка результатов таких форм самостоятельной работы осуществляется во время контактных (консультационных) часов с преподавателем. Этот вид работы может оцениваться дополнительными баллами, формирующими оценку по контролируемой самостоятельной работе, и учитывающимися при итоговой аттестации по курсу. Основными направлениями самостоятельной работы магистранта являются:

- первоначально подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком используемой литературы по дисциплине в целом и ее разделами, наличие ее в библиотеке и других доступных источниках, изучение необходимой литературы по теме, подбор дополнительной литературы;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы и консультаций;
- подготовка к лабораторным занятиям по специально разработанным планам с изучением основной и дополнительной литературы;
- подготовка к выполнению диагностических форм контроля (тесты, контрольные работы, устные опросы и т.п.);
- подготовка к экзамену.

Примерный перечень вопросов к экзамену

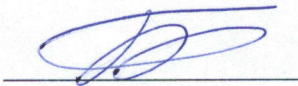
1. Идеальная пластичность. Условие пластичности.

2. Принцип максимума в пространстве напряжений. Пластический потенциал и ассоциированный закон пластического течения.
3. Принципы максимума в пространстве скоростей пластический деформаций.
4. Диссипативная функция и ассоциированный закон нагружения. Экстремальные свойства условий пластичности
5. Основы линейной теории вязкоупругости. Модели вязкоупругого поведения материалов.
6. Установившаяся ползучесть балки при чистом изгибе.
7. Установившаяся ползучесть стержня при кручении.
8. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Ползучесть толстостенной трубы.
9. Устойчивость вязкопластического течения полосы, стержня, круглой пластины.
10. Плоская задача теории идеальной пластичности.
11. Начальное пластическое течение при внедрении сферического индентора в жестко пластическое полупространство.
12. Плоские течения идеально пластической среды.
13. Растяжение полосы переменного сечения.
14. Растяжение полосы, ослабленной выточками.
15. Растяжение цилиндрического стержня.
16. Деформирование полого цилиндра.
17. Напряженное состояние около сферической полости.
18. Сдавливание круглого в плане пластического слоя шероховатыми пластами.
19. Устойчивость вязкопластического течения полосы, стержня, круглой пластины.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
к.ф.-м.н., доцент



М.Г. Ботогова

28.06.2024

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____/____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

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

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)