

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

« 18 » *Июль* 2019 г.

Регистрационный № УД- *8648* /уч.

Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела

**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. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Вихренко Вячеслав Степанович - доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического 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
механико-математического факультета
(протокол № 12 от 14.06.2019)

Научно-методическим советом
Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 28.06.2019)

Заведующий кафедрой _____

Михасев Г.И.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

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 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 «Механика сплошной среды» и «Физика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующей углубленной профессиональной компетенции:

УПК-1 - Обладать способностью находить, 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 сплошной среды (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;

владеть:

- 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 высшего образования – 216 часов, в том числе 72 аудиторных часов, из них: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине - экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Идеально пластическое тело

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 пластического деформаций. Диссипативная функция и ассоциированный закон нагружения. Экстремальные свойства условий пластичности.

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.

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.

Тема 2. Упрочняющееся пластическое тело. Сложные среды.

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.

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.

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.

Тема 3. Линеаризованные задачи жесткопластического анализа.

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.

Тема 4. Основы теории ползучести

4.1 Теория наследственности Больцмана-Вольтерра.

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

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

МЕХАНИКА НЕУПРУГОГО И НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Номер раздела	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
2	Упрочняющееся пластическое тело. Сложные среды.	12			10			
2.1	Упрочнение и разупрочнение.	4			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой

2.2	Плоская деформация при наличии линейного упрочнения.	4			2			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
2.3	Об остаточных напряжениях при кручении.	4			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
3	Линеаризованные задачи жесткопластического анализа.	4			6			
3.1	Растяжение полосы, ослабленной выточками	4			6			Собеседование
4	Основы теории ползучести	8			10			
4.1	Теория наследственности Больцмана-Вольтерра.	4			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
4.2	Установившаяся ползучесть балки при чистом изгибе.	4			6			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
	Всего по курсу	36			36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Ишлинский А.Ю, Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. –М.: Физматлит, 2002. -701с.
2. Быковцев Г.И., Ивлев Д.Д. Теория пластичности. – Владивосток: Дальнаука. 1998. - с.
3. Друянов Б.А., Непершин Р.И. Теория технологической пластичности. – Мн.:Машиностроение, 1990.
4. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948.
5. Старовойтов Э.И. Основы теории упругости и пластичности. –Гомель, 2001.
6. Поленов В.С., Чигарев А.В. Распространение сферически-симметричных волн в двухкомпонентных пористых средах // Теоретическая и прикладная механика – 2019. - № 34 – С.150-153.
7. Непершин Р.И. Прикладные проблемы пластичности. –М.: МГТУ. <Станкин>, 2018.

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

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ

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 лабораторной работе с ее устной защитой;
- устные 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.

Формирование оценки за *текущую успеваемость* осуществляется в соответствии со следующими весовыми коэффициентами:

ответы при устных собеседованиях на лабораторных занятиях – **40 %**;

отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – **60 %**.

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

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой оценки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования;
- 2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете № 382-ОД от 18.08.2015г.;

Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.

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.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Задания по учебной дисциплине «Механика неупругого и нелинейного деформирования твердого тела» состоят из 2-х модулей и предназначены для самостоятельного изучения материала из тем: «Плоская деформация при наличии линейного упрочнения» и «Об остаточном напряжении при кручении».

Для изучения материала данных разделов в аудиторное время студентам будет роздан адаптированный материал из источников [4, 7], а затем для закрепления изученного материала будут предложены практические примеры.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Вдавливание штампа в пластическую среду.
2. Вдавливание конического индентора.
3. Вдавливание сферического индентора.
4. Сдавливание слоя шероховатыми плитами.
5. Качение жестких и пневматических колес.
6. Прокатка и волочение через матрицу.
7. Удар стержня о преграду.

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.

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 пластических 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 пластинами.
19. Устойчивость вязкопластического течения полосы, стержня, круглой пластины.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

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)
Механика наноразмерных структур	Био- и нано механики	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется. (протокол № 12 от 14.06.2019)

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
(протокол № ____ от _____ 201 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор _____

(степень, звание)

(подпись)

Г.И. Михасев _____

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Д.ф.-м.н., доцент _____

(степень, звание)

(подпись)

С.М. Босяков _____

(И.О.Фамилия)