

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГОУ ВО ВГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев

22.03.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.09 Современные проблемы теории пластичности

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

01.04.03 Механика и математическое моделирование

2. Профиль подготовки/специализации: Прикладная механика и компьютерное моделирование

3. Квалификация (степень) выпускника: Магистр

4. Форма образования: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Механики и компьютерного моделирования

6. Составители программы:

Ковалев Алексей Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, kovalev@amm.vsu.ru

7. Рекомендована: НМС факультета ПММ протокол №5 от 22.03.2024

8. Учебный год: 2025 - 2026

Семестр(-ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

ознакомление с современным состоянием теории пластичности, построением сложных математических моделей пластических сред, используемым математическим аппаратом, аналитическими и численными методами решения краевых задач, технологической теорией обработки металлов давлением.

Задачи учебной дисциплины:

научить студентов методике построения математических моделей на основе теории пластичности, с учетом новых направлений механики, решению полученных задач новыми методами с использованием современного программного обеспечения и анализу полученных результатов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к базовому блоку Б1. Студент должен знать основные соотношения теории упругости, теории пластичности и идеальной жесткопластической среды. Постановку задач кручения, плоской деформации, плоского напряженного состояния.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	ОПК-1.1	Знает формулировки актуальных и значимых проблем механики и прикладной математики, этапы разрешения проблемы; методы решения проблемных ситуаций и проблем	Знать: основные понятия и задачи теории пластичности Уметь: выбирать оптимальное решение для поставленной задачи Владеть: навыками решения задач теории пластичности
		ОПК-1.2	Способен находить и формулировать проблему в области механики и прикладной математики; решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики	Знать: методы решения значимых проблем фундаментальной и прикладной математики Уметь: находить и формулировать проблему в области механики и прикладной математики Владеть: навыками постановки задачи и их решения
ОПК-2	Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской	ОПК-2.1	Накапливает и систематизирует знания в области современных методов математического и алгоритмического моделирования	Знать: основные методы математического моделирования Уметь: выбирать важную информацию, которая касается математического моделирования в теории

	и опытно-конструкторской деятельности			пластичности Владеть: навыками алгоритмического и математического моделирования
		ОПК-2.2	Анализирует задачу, разрабатывает и применяет новые необходимые методы математического и алгоритмического моделирования для ее решения.	Знать: основные методы математического и алгоритмического моделирования Уметь: проводить анализ поставленной задачи теории пластичности Владеть: навыками разработки новых методов моделирования для решения актуальных задач теории пластичности

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 3 / 108.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен): Экзамен

13.Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		3
Аудиторные занятия	24	24
в том числе: лекции	12	12
практические	12	12
лабораторные.	-	-
Самостоятельная работа	48	48
Форма промежуточной аттестации	экзамен(36)	экзамен(36)
Итого:	108	108

13.1 Содержание разделов дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Сложные среды	Обобщение теории. Учет упругих свойств. Соотношения Прандтля-Рейса. Учет упрочнения, вязкости, сжимаемости, анизотропии. Деформационная теория. Связь с теорией течения. Метод упругих решений	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11165
1.2	Осесимметричные и сферические деформируемые состояния	Равновесие цилиндрической трубы, кольцевого диска плоского клина, сферического сосуда, конической трубы, вращающегося диска. Вдавливание круглого и кольцевого штампов в полупространство. Автоскрепление толстостенных труб. Численные	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/cour

		методы. Приближенные методы.	se/view.php?id=11165
1.3	Кручение и изгиб упругопластических стержней	Поля напряжений и смещений. Упругопластическое кручение стержней «СПТП» различных поперечных сечений. Кручение стержней переменного диаметра. Кручение сектора кругового кольца. Сложный сдвиг полосы с вырезами. Приближенные и численные решения.	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11165
2. Практические занятия			
2.1	Сложные среды	Обобщение теории. Учет упругих свойств. Соотношения Прандтля-Рейса. Учет упрочнения, вязкости, сжимаемости, анизотропии. Деформационная теория. Связь с теорией течения. Метод упругих решений	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11165
2.2	Осесимметричные и сферические деформируемые состояния	Равновесие цилиндрической трубы, кольцевого диска плоского клина, сферического сосуда, конической трубы, вращающегося диска. Вдавливание круглого и кольцевого штампов в полупространство. Автоскрепление толстостенных труб. Численные методы. Приближенные методы.	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11165
2.3	Кручение и изгиб упругопластических стержней	Поля напряжений и смещений. Упругопластическое кручение стержней различных поперечных сечений. Кручение стержней переменного диаметра. Кручение сектора кругового кольца. Сложный сдвиг полосы с вырезами. Приближенные и численные решения.	Современные проблемы теории пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11165

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Сложные среды	4	4		14	22
2.	Осесимметричные и сферические деформируемые состояния	4	4		18	26
3.	Кручение и изгиб упругопластических стержней	4	4		16	24
	Итого:	12	12		48	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Студентам, изучающим дисциплину, рекомендуется проведение самостоятельной работы с конспектами лекций, презентационным материалом, методическими указаниями, литературой. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Прикладная теория пластичности : учебное пособие / К. М. Иванов, Н. И. Нестеров, Д. В. Усманов и др. ; ред. К. М. Иванов. – Санкт-Петербург : Политехника, 2011. – 378 с. : схем., ил. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=124322

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2.	Ханефт, А. В. Механика сплошных сред : учебное пособие / А. В. Ханефт ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. – Часть 2. Теория упругости. – 104 с. : ил.,табл., схем. –URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495214
3.	Донских, С. А. Отдельные вопросы механики сплошной среды / С. А. Донских, В. Н. Сёмин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 96 с. : ил., табл. –URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598047
4.	Бондарь, В. С. Пластичность. Пропорциональные и непропорциональные нагружения / В. С. Бондарь, В. В. Даншин. – Москва : Физматлит, 2008. – 175 с. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76673
5.	Краснобаев К.В. Лекции по основам механики сплошной среды. / К.В. Краснобаев. — М. :Физматлит, 2005. — 108с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574777
6.	Корабельников, Д. В. Практикум по основам механики сплошных сред : учебное пособие / Д. В. Корабельников, А. В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2011. – 103 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232408 (дата обращения: 12.11.2021). – ISBN 978-5-8353-1135-4.
7.	Черняк, В. Г. Механика сплошных сред : учебное пособие / В. Г. Черняк, П. Е. Суетин. – Москва : Физматлит, 2006. – 352 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69276
8.	Решение неконсервативных задач теории устойчивости : учебное пособие / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков, А. В. Щугорев. – Москва : Физматлит, 2017. – 237 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485332

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9.	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
10.	Научнообразовательный центр при МИАН http://www.rus.ru
11.	Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://lib.mexmat.ru/
12.	Современные проблемы теории пластичности / А.В. Ковалев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru .

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к практическим занятиям и подготовку к промежуточной аттестации.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов, в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению заданий. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1.	Качанов Л.М. Основы теории пластичности/ Л.М.Качанов – М.:Наука. – 1969. – 420 с.
2.	Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности /Д.Д.Ивлев. – М.:Наука, 1966. – 231 с.
3.	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
4.	Современные проблемы теории пластичности / А.В. Ковалев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru .

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам.

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Современные проблемы теории пластичности», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), доска магнитно-маркерная на стенде

Программное обеспечение: ОС Windows 8 (10), ПО Adobe Reader

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Компьютерные технологии и задачи прочности	ОПК-1	ОПК-1.1	Собеседование
2.	MSC.Nastran и ANSYS.Mechanical	ОПК-1	ОПК-1.1	Лабораторные задания/ домашние задания
3.	Компьютерные технологии и задачи гидрогазодинамики	ОПК-1	ОПК-1.2	Лабораторные задания/ домашние задания
4.	ANSYS.CFX и NUMECA.Open	ОПК-1	ОПК-1.2	Лабораторные задания/ домашние задания
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Лабораторные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Описание технологии проведения: Решение Лабораторных заданий происходит в течение 1 часа 30 минут в учебной аудитории, для выполнения домашних заданий предусмотрены часы из СРС. Проверка правильности выполнения проводится путем проверки выполненных упражнений.

Оценка	Критерии оценок
--------	-----------------

Отлично	Правильное решение задачи.
Хорошо	Правильное решение задачи, но есть некоторые ошибки.
Удовлетворительно	Неправильное решение задачи, но верно выбран метод решения.
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Вопросы к экзамену:

1. Основные понятия. Сплошная среда. Однородная среда. Изотропные и анизотропные тела. Кинематическое описание сплошной среды.
2. Основные понятия. Внешние силы. Принцип Сен-Венана.
3. Основные понятия. Внутренние силы.
4. Основные понятия. Простейшие примеры однородных напряженных состояний.
5. Основные понятия. Упругость.
6. Упругая энергия и упругие потенциалы.
7. Термодинамика упругой деформации.
8. Распространение упругих волн в стержнях.
9. Постановка задач теории упругости. Полная система уравнений теории упругости в декартовых координатах
10. Постановка задач теории упругости в перемещениях. Уравнения Ламе.
11. Постановка задач теории упругости в напряжениях. Уравнения Бельтрами Митчелла.
12. Вариационные уравнения теории упругости. Принцип Рейснера.
13. Вариационные принципы Лагранжа и Кастильяно.
14. Обобщенные силы и перемещения.
15. Основные теоремы теории упругости.
16. Задача о толстостенной трубе.
17. Простейшая задача о концентрации напряжений. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений.
18. Постановка динамических задач теории упругости.
19. Неравенство Рэлея и метод Ритца.
20. Распространение плоских волн в упругой среде.
21. Напряженное состояние в окрестности точки тела. Граничные условия. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия.
22. Перемещения и деформации. Виды деформации. Однородная деформация. Составляющие малой деформации. Соотношения Коши. Тензор деформации. Линейная деформация элемента произвольного направления.
23. Плоская деформация.
24. Плоское напряженное состояние.

Критерии оценивания	Оценка
---------------------	--------

Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области теории пластичности	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен применять теоретические знания для решения практических задач в области теории пластичности, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Хорошо
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), но не способен применять теоретические знания для решения практических задач в области теории пластичности, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при иллюстрации примерами.	Неудовлетворительно

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения об идеальном характере пластического деформирования (отсутствие упругости) приводит к обобщению теории?

- а) Да**
б) Нет

ЗАДАНИЕ 2. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения об изотропном характере деформирования приводит к обобщению теории?

- а) Да**
б) Нет

ЗАДАНИЕ 3. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения о нормальном характере изотропии приводит к обобщению теории?

- а) Да**
б) Нет

ЗАДАНИЕ 4. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения о независимости пластического поведения материала от действия векторного давления приводит к обобщению теории?

- а) Да**
б) Нет

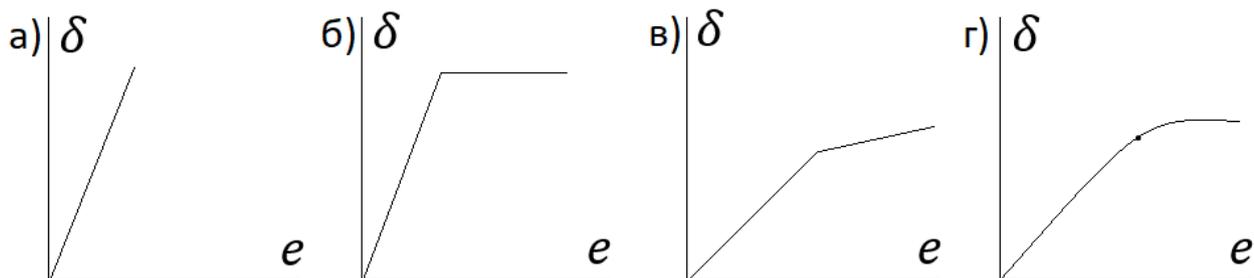
ЗАДАНИЕ 5. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения об отсутствии в теле упругих деформаций приводит к обобщению теории?

- а) Да**
б) Нет

ЗАДАНИЕ 6. Модель идеального, однородного, нормально изотропного, несжимаемого, жесткопластического тела, определяется 6 предположениями. Можно ли считать, что снятие предположения об однородности свойств тела приводит к обобщению теории?

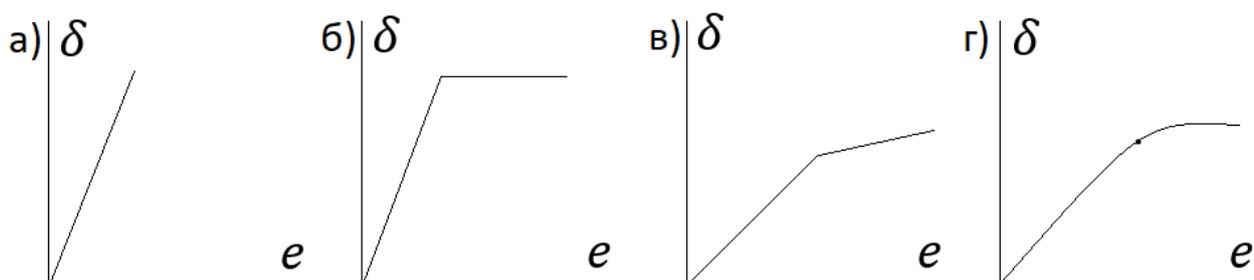
- а) Да**
б) Нет

ЗАДАНИЕ 7. Вашему вниманию представлены графики одноосного растяжения образца. Какой график соответствует упругому деформированию?



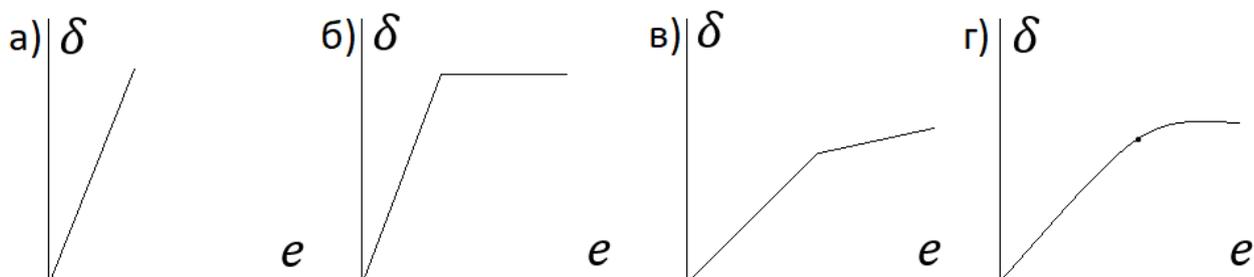
а) б) в) г)

ЗАДАНИЕ 8. Вашему вниманию представлены графики одноосного растяжения образца. Какой график соответствует упругопластическому деформированию?



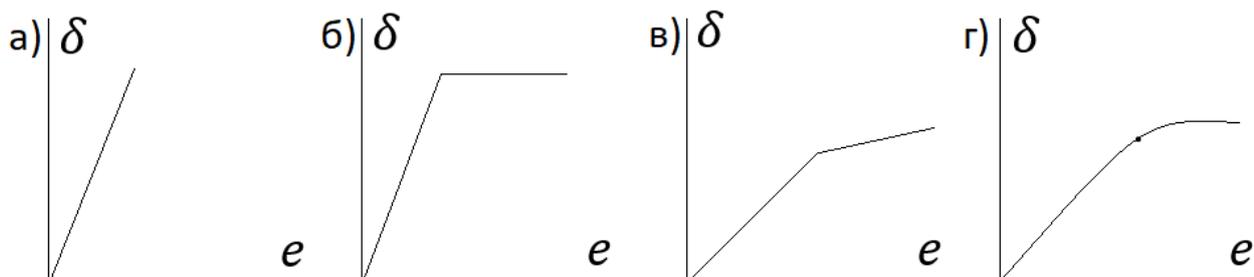
а) б) в) г)

ЗАДАНИЕ 9. Вашему вниманию представлены графики одноосного растяжения образца. Какой график соответствует линейноупрочняющемуся деформированию?



а) б) в) г)

ЗАДАНИЕ 10. Вашему вниманию представлены графики одноосного растяжения образца. Какой график соответствует нелинейноупрочняющемуся деформированию?



а) б) в) г)

ЗАДАНИЕ 11. Обычно термин упрочняющееся пластическое тело используется для определения пластических сред, поверхность нагружения которых изменяется в процессе изменения деформированного состояния элемента тела. Возможно ли уравнения такой поверхности записать в форме

$$f(\delta_{ij} e_{ij}^p \chi_i k_i) = 0, \quad \text{где}$$

- δ_{ij} – компоненты тензора напряжений
- e_{ij}^p – компоненты тензора пластических деформаций
- χ_i – параметры упрочнений
- k_i – параметры упрочнений

а) Да

б) Нет

ЗАДАНИЕ 12. Верно ли высказывание, что нейтральное нагружение имеет место в случае, когда приращения напряжений таковы, что конец вектора в любой момент времени остается на фиксированной поверхности и изменение пластических деформаций не происходит. То есть изменение поверхности нагружения не происходит и $de_{ij}^p = 0, d\chi_i = 0$

а) Да

б) Нет

ЗАДАНИЕ 13. Верно ли, что принципу максимума можно дать следующую формулировку для упрочняющегося тела при фиксированных параметрах e_{ij}^p и χ_i для любого данного значения компонент скорости деформации $\dot{\varepsilon}_{ij}^p$ имеет место неравенство $\delta_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^p > \delta_{ij}^* \dot{\varepsilon}_{ij}^p$, где δ_{ij}^* - напряженное состояние допускаемое функции нагружения.

а) Да

б) Нет

ЗАДАНИЕ 14. В теории изотропного упрочнения предполагается, что функция нагружения зависит только от инвариантов тензора напряжений и пластических деформаций. Возможна ли такая запись функции нагружения в этом случае:

$$(S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}} = K + a(e_{ij}^p e_{ij}^p)^{\frac{1}{2}}, a = const$$

а) Да

б) Нет

ЗАДАНИЕ 15. Возможна ли запись ассоциативного закона пластического течения при функции нагружения $(S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}} = K + a(e_{ij}^p e_{ij}^p)^{\frac{1}{2}}, a = const$ в форме $\dot{e}_{ij}^p = \mu^0 S_{ij}$

а) Да

б) Нет

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Дать постановку задачи Ламе о толстостенной трубе для упругопластического материала (геометрия, схема нагружения, система координат) без уравнений.

ЗАДАНИЕ 2. Дать постановку задачи Ламе о толстостенной трубе для упрочняющегося упругопластического материала (геометрия, схема нагружения, система координат) без уравнений.

ЗАДАНИЕ 3. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для упругопластического материала (общий вид).

ЗАДАНИЕ 4. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для упрочняющегося упругопластического материала (общий вид).

ЗАДАНИЕ 5. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для жёсткопластического материала (общий вид).

ЗАДАНИЕ 6. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для упрочняющегося жёсткопластического материала (общий вид).

ЗАДАНИЕ 7. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для несжимаемого упругопластического материала (общий вид).

ЗАДАНИЕ 8. Записать систему уравнений в пластической зоне в задаче Ламе для несжимаемого упрочняющегося упругопластического материала (общий вид).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины.