

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.30 Теория пластичности

- 1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:**
01.03.03 Механика и математическое моделирование
- 2. Профиль подготовки/специализации:** Компьютерный инжиниринг в механике сплошных сред
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** Бакалавр
- 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:** 2026 - 2027 **Семестр(-ы):** 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

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

Задачи учебной дисциплины:

- научить студентов владеть теоретическим материалом, уметь формулировать и доказывать основные классические и современные результаты теории пластичности, владеть навыками решения классических и современных прикладных задач.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина входит в базовую часть профессионального цикла. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, алгебра и геометрия, теоретическая механика, дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, МСС, теория упругости.

Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать спецкурсы: математические модели в МСС, теория разрушения, волновая динамика и др.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	ОПК-1.1	Применяет системный подход и математические методы формализации решения прикладных задач.	<p>Знать: фундаментальные понятия дисциплины, быть знакомыми с современным состоянием дисциплины.</p> <p>Уметь: формулировать и доказывать основные классические и современные результаты дисциплины</p> <p>Владеть: системным подходом и математическими методами в формализации решения задач механики сплошных сред</p>

ОПК-3	Способен использовать методы физического моделирования и современное экспериментальное оборудование в профессиональной деятельности	ОПК-3.1	Накапливает и систематизирует знания в области методов физического моделирования и современного экспериментального оборудования	<p>Знать: основные методы физического моделирования</p> <p>Уметь: использовать современное экспериментальное оборудование в профессиональной деятельности</p> <p>Владеть: навыками решения классических и современных задач</p>
-------	---	---------	---	---

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 5/180.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) _____ экзамен

13.Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
Аудиторные занятия	64	68
в том числе:	лекции	32
	практические	32
	лабораторные	
Самостоятельная работа	80	80
Промежуточная аттестация (для экзамена)	36	36
Итого:	180	180

13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.	Уравнения пластического состояния	Основные свойства пластических тел. Диаграмма растяжения. Модель идеального, идеально изотропного, однородного несжимаемого пластического тела. Условие пластичности. Поверхность нагружения. Условие пластичности Треска, Мизеса, максимального приведеннонормального напряжения. Принцип максимума. Ассоциированный закон пластического течения для гладких и	Теория пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5120

		кусочно-гладких поверхностей текучести. Диссипативная функция. Примеры.	
2.	Общие теоремы	Уравнение скорости виртуальных работ. Теорема единственности. Первая теорема предельного равновесия. Вторая теорема предельного равновесия. Полное решение. Предельное равновесие балок и рам.	Теория пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5120
3.	Плоская деформация.	Плоская деформация. Основные уравнения. Линии скольжения. Соотношения Генки. Свойства линий скольжения. Первая и вторая теоремы Генки. Простые напряженные состояния. Осесимметричное поле. Граничные условия для напряжений. Основные краевые задачи и численное решение. Поле скоростей. Соотношение Генрингер. Численное построение поля скоростей. Линии разрыва напряжений. Линии разрыва скоростей. Линии раздела жесткой и пластической области. Растяжение полосы с отверстием. Растяжение полосы с глубокими вырезами. Вдавливание плоского штампа в полупространство. (Решения Хилла и Прандтля). Сдавливание тупого и острого клина. Внедрение клина в полупространство. Чистый и поперечный изгиб полосы.	Теория пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5120
4.	Плоское напряженное состояние	Плоское напряженное состояние. Основные уравнения. Построение решений при условии текучести Мизеса. Построение решений при условии текучести Треска. Разрывные решения. Растяжение полосы, ослабленной вырезами.	Теория пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5120
5.	Кручение.	Кручение призматических стержней. Основные уравнения. Песчаная аналогия. Исследование напряженного состояния. Разрывные решения. Деформированное состояние при кручении.	Теория пластичности https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5120

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование разделов дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Уравнения пластического состояния	6	6		14	26
2.	Общие теоремы	9	9		18	36
3.	Плоская деформация	9	9		18	36
4.	Плоское напряженное состояние	4	4		15	23
5.	Кручение	4	4		15	23

Итого:	32	32	80	144
--------	----	----	----	-----

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

На лекционных занятиях студенты знакомятся с основными понятиями курса, их логической взаимосвязью. Изучение тем начинается с лекций, которые составляют основу теоретической подготовки студентов. Лекции читаются с использованием технических средств обучения. На самостоятельной работе студенты развивают и углубляют полученные знания. Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме, выполнение индивидуальных заданий. Практические занятия позволяют развивать у студентов творческое теоретическое мышление, умение самостоятельно изучать литературу, анализировать практику; учат четко формулировать мысль, вести дискуссию, то есть имеют исключительно важное значение в развитии самостоятельного мышления. При подготовке к практическим занятиям необходимо повторить основные положения и понятия по теме занятия. 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.	Бондарь, В. С. Пластичность. Пропорциональные и непропорциональные нагрузки / В. С. Бондарь, В. В. Даншин. – Москва : Физматлит, 2008. – 175 с. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76673
3.	Донских, С. А. Отдельные вопросы механики сплошной среды / С. А. Донских, В. Н. Семин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 96 с. : ил., табл. –URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598047
4.	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

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
5.	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
6.	Научно-образовательный центр при МИАН http://www.mi.ras.ru/
7.	Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://lib.mexmat.ru/

8.	Теория 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.)

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.	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
2.	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
3.	Теория 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 «Теория 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, Компьютеры, Интерактивная доска, Мультимедиа-проектор

Программное обеспечение: Adobe Reader (свободное и/или бесплатное ПО)Microsoft Visual Studio Community Edition (свободное и/или бесплатное ПО), Notepad ++ (свободное и/или бесплатное ПО)Справочно-правовая система Гарант (на сервере) (договор о сотрудничестве №19/08 от 10.12.2006), Mozilla Firefox (свободное и/или бесплатное ПО)

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.	Уравнения пластического состояния	ОПК-1	ОПК-1.2	<i>Собеседование</i>
2.	Общие теоремы	ОПК-3	ОПК-3.3	<i>Собеседование</i>
3.	Плоская деформация	ОПК-3	ОПК-3.3	<i>Собеседование</i>
4.	Плоское напряженное состояние	ОПК-3	ОПК-3.3	<i>Собеседование</i>
5.	Кручение	ОПК-1	ОПК-1.2	<i>Собеседование</i>
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				<i>Перечень вопросов</i>

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Описание технологии проведения. Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен применять теоретические знания для решения практических задач в области теории упругости, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Базовый уровень	Хорошо

Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), но не способен применять теоретические знания для решения практических задач, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при иллюстрации примерами.	–	Неудовлетворительно

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Описание технологии проведения. Средство контроля, организованное как решение задач и специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Вопросы к экзамену:

1. Основные свойства пластических тел. Модель идеального, идеально изотропного, однородного несжимаемого пластического тела.
2. Условие пластичности. Поверхность нагружения. Условие пластичности Треска, Мизеса, максимального приведеннонормального напряжения.
3. Принцип максимума.
4. Ассоциированный закон пластического течения для гладких и кусочно-гладких поверхностей текучести. Диссипативная функция.
5. Уравнение скорости виртуальных работ.
6. Теорема единственности.
7. Первая теорема предельного равновесия.
8. Вторая теорема предельного равновесия. Полное решение.
9. Предельное равновесие балок и рам.
10. Плоская деформация. Основные уравнения.
11. Линии скольжения. Соотношения Генки. Свойства линий скольжения.
12. Первая и вторая теоремы Генки.
13. Простые напряженные состояния. Осесимметричное поле.
14. Граничные условия для напряжений. Основные краевые задачи и численное решение.
15. Поле скоростей. Соотношение Генрингер. Численное построение поля скоростей.
16. Линии разрыва напряжений. Линии разрыва скоростей. Линии раздела жесткой и пластической области.
17. Растяжение полосы с отверстием.
18. Растяжение полосы с глубокими вырезами.
19. Вдавливание плоского штампа в полупространство. (Решения Хилла и Прандтля).

20. Сдавливание тупого и острого клина. Внедрение клина в полупространство. 21. Чистый и поперечный изгиб полосы.
22. Плоское напряженное состояние. Основные уравнения.
23. Построение решений при условии текучести Мизеса.
24. Построение решений при условии текучести Треска.
25. Разрывные решения. Растяжение полосы, ослабленной вырезами.
26. Кручение призматических стержней. Основные уравнения.
27. Песчаная аналогия.
28. Исследование напряженного состояния.
29. Разрывные решения.
30. Деформированное состояние при кручении.

Экзамен проводится на основе КИМ, составленных на основе вопросов для подготовки к экзамену.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен применять теоретические знания для решения практических задач в области теории упругости, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), но не способен применять теоретические знания для решения практических задач, допускает ошибки при иллюстрации примерами.	Пороговый уровень	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. Пластичность — свойство твердых тел приобретать остаточные деформации

а) да

б) нет

ЗАДАНИЕ 2. При определении напряженно-деформированного состояния жёсткопластического тела искомыми величинами являются:

- компоненты вектора скорости перемещений V_i

- компоненты тензора скорости пластической деформации $\varepsilon_{ij} = \frac{de_i}{df}$

- компоненты тензора напряжений δ_{ij}

а) да

б) нет

ЗАДАНИЕ 3. Верно ли, что в простейшем случае изменение механических свойств рассматриваемого материала характеризуется некоторой комбинацией напряжений

форме $f_p(\delta_{ij}) = 0, (p = 1, \dots, n)$

а) да

б) нет

ЗАДАНИЕ 4. При построении простейшей модели пластического тела делаются предположения об

- идеальном характере пластического деформирования (отсутствии упрочнения)

- изотропном характере деформирования (отсутствии явлений начальной и приобретенной анизотропии)

- нормальном характере изотропии (отсутствии различия между поведением материала при нагружениях, отличающихся законом напряжения)

- независимости пластического поведения материала от действия всестороннего давления

- жесткопластическом характере деформирования (отсутствии в теле упругих деформаций)

- однородности свойств тела

а) да

б) нет

ЗАДАНИЕ 5. Условие пластичности октаэдрического напряжения (Мизеса) имеет вид $S_{ij}S_{ij} = 2k^2$ где S_{ij} – девиатор тензора напряжений

а) да

б) нет

ЗАДАНИЕ 6. Принцип максимума Мезиса формулируется так: Скорость диссипации механической энергии в единице объема во время пластического деформирования имеет максимальное значение для действительного напряженного состояния среди всех напряженных состояний, допускаемых данным условием пластичности

а) да

б) нет

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

ЗАДАНИЕ 1. Записать полную систему уравнений, описывающих поведение однородного, идеального, несжимаемого жёстко-пластического тела (с условием пластичности в общем виде)

ЗАДАНИЕ 2. Записать полную систему уравнений, описывающих поведение однородного, идеального, несжимаемого жёстко-пластического тела (с условием Трески)

ЗАДАНИЕ 3. Записать полную систему уравнений, описывающих поведение однородного, идеального, несжимаемого жёстко-пластического тела (с условием Ивлева)

ЗАДАНИЕ 4. Записать полную систему уравнений, описывающих поведение однородного, идеального, несжимаемого жёстко-пластического тела (с условием Мизеса)

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