

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н. проф.

Драгунов В.К.

В.К. Драгунов
_____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 1.1.8. Механика деформируемого твердого
тела

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Механика деформируемого твердого тела» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение специальных разделов механики сплошных сред, относящихся к процессам деформирования, повреждения и разрушения материалов для последующего применения полученных знаний в процессе практической работы и теоретических исследований проблем современной механики деформируемого твердого тела.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с механическими моделями, определением напряженно-деформированного состояния твёрдых деформируемых тел различной конфигурации;
- сформировать систему знаний и основных понятий в области механики деформируемого твердого тела, а также вопросов прочности и деформативности материалов и элементов конструкций;
- познакомить обучающихся с практическими рекомендациями, методами и приёмами решения задач механики деформируемого твердого тела;
- научить производить расчеты по оценке несущей способности и жесткости конструкций;
- научить решать практические задачи и выполнять теоретические исследования в области механики деформируемого твердого тела, прогнозирования прочности и поведения материалов и элементов конструкций.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Механика деформируемого твердого тела – область науки и техники, изучающая закономерности процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно деформированное состояние твердых тел из этих материалов, при воздействиях различной природы. Механика деформируемого твердого тела изучает установление законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, разработку методов постановки и методов решения краевых задач для прогнозирования поведения деформируемых твердых тел различной

природы при разнообразных воздействиях, выявление связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения, предупреждения недопустимых деформаций и трещин в конструкциях различного назначения, планирование, проведение и интерпретацию экспериментальных данных по изучению деформирования, повреждения и разрушения материалов. Механика деформируемого твёрдого тела использует теоретические методы теории упругости, вычислительной механики, теории надёжности, пластичности, ползучести, вязкоупругости, принципы обеспечения безопасного проектирования и конструирования машин и конструкций.

Области исследований

1. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов.
2. Теория определяющих соотношений деформируемых тел.
3. Механика композиционных материалов и конструкций.
4. Задачи теории упругости, пластичности, ползучести и вязкоупругости.
5. Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел.
6. Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.
7. Устойчивость процессов деформирования.
8. Постановка и решение задач теории тонкостенных стержней, пластин и оболочек.
9. Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях.
10. Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела.
11. Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов.
12. Конструкционная прочность и теория надёжности машин, приборов и аппаратуры.

Отрасль науки

- технические науки;
- физико-математические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теория упругости, высшая математика, линейная алгебра и аналитическая геометрия, сопротивление материалов, строительная механика машин, вычислительная механика, статистическая механика и теория надёжности, теория пластичности и ползучести, механика композиционных материалов, нелинейные задачи механики сплошной среды, нормы прочности,

безопасности и проектирования.

Теория упругости

Аксиоматические основы классической теории упругости. Характеристики геометрических изменений сплошной среды: вектор перемещений, тензоры деформаций и малых вращений. Уравнения совместности деформаций. Определение перемещений по деформациям.

Характеристики внутренних сил: вектор напряжений на элементарной площадке, тензор напряжений. Формулы Коши. Уравнения равновесия Навье. Условия равновесия на границе.

Плотность потенциальной энергии упругой деформации. Формула Грина. Потенциальная энергия деформации тела. Уравнение состояния идеальной линейной упругости для изотропного тела (обобщенный закон Гука), ортотропного и трансверсально изотропного тел.

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами – Митчела. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Теоремы о существовании и единственности. Принцип Сен-Венана. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Прямой, обратный и полуобратный методы решения задач теории упругости.

Принцип виртуальных перемещений. Вариационный принцип Лагранжа. Принцип виртуальных напряжений. Вариационный принцип Кастильяно. Вариационный метод Ритца. Метод Бубнова – Галеркина.

Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Методы решения задач (тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов). Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова – Мусхелишвили. Свободное кручение цилиндрических стержней.

Методы решения задач о концентрации напряжений (диски и пластины с отверстием, стержни с надрезом).

Теория тонкостенных стержней, пластин и оболочек

Теория тонкостенных стержней открытого профиля. Свободное кручение. Стесненное кручение. Перемещения и деформации. Геометрические характеристики. Секториальная площадь и ее свойства. Напряжения и силовые факторы. Дифференциальное уравнение стесненного кручения, граничные условия. Решение краевых задач. Свободное кручение тонкостенных стержней закрытого профиля. Стесненное кручение тонкостенных стержней закрытого профиля, аналогия в основных зависимостях.

Классическая теория изгиба пластин. Гипотезы Кирхгофа-Лява и связанная с ними погрешность. Напряжения и силовые факторы. Дифференциальное уравнение изгиба пластины и граничные условия. Пластины, прямоугольные в плане, и пластины с криволинейными границами. Точные и приближенные методы решения краевых задач классической теории

изгиба пластин. Применение вариационных и численных методов. Неклассические теории пластин. Пластина Тимошенко. Учет тангенциального нагружения. Техническая нелинейная теория пластин. Уравнения Кармана. Методы решения краевых задач. Оптимальное армирование композиционных пластин, находящихся в условиях однородного напряженного состояния.

Классическая теория оболочек. Гипотезы Кирхгофа-Лява. Кинематические соотношения для оболочек. Тензоры деформации и изменения кривизны. Напряжения и соотношения упругости. Внутренние усилия и моменты, уравнения и граничные условия классической теории оболочек. Потенциальная энергия деформации. Основные и естественные граничные условия и их механический смысл. Уравнения совместности деформаций в оболочках. Статико-геометрическая аналогия.

Методы расчета оболочек: Безмоментная теория оболочек. Область применения. Уравнения равновесия. Применение метода сечений в безмоментной теории. Противоречивость безмоментной теории оболочек. Теория цилиндрических оболочек. Техническая теория. Полубезмоментная теория. Расчет круговых цилиндрических оболочек. Оптимальные схемы армирования безмоментных цилиндрических композиционных оболочек. Теория пологих оболочек. Уравнения Власова. Методы решения краевых задач для пологих оболочек. Осесимметричная деформация оболочек вращения. Частное решение дифференциальных уравнений равновесия. Однородное решение. Функции Мейснера. Уравнения Мейснера. Граничные условия. Расчет составных оболочек вращения. Оптимальные конструктивные формы композитных оболочек вращения. Уточненная теория пологих оболочек. Исходные гипотезы, основные уравнения. Методы решения краевых задач. Техническая нелинейная теория оболочек. Уравнения и граничные условия. Методы расчета оболочек по технической нелинейной теории. Ортотропные оболочки.

Теория пластичности, ползучести и вязкоупругости

Модели упругопластического тела. Критерии текучести. Поверхность текучести. Ассоциированный закон течения. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение различных теорий пластичности.

Постановка задач в теории упругопластического и жесткопластического материала без упрочнения. Остаточные напряжения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки. Приспособляемость. Простейшие задачи теории пластичности.

Гипотезы старения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Деформационная теория и теория пластического течения. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся и неуставившаяся ползучесть.

Теория линейной вязкоупругости. Математическое описание вязкоупругих свойств полимеров. Дифференциальная и интегральная формы соотношений между напряжениями и деформациями. Вязкоупругие функции,

связь между ними. Постановка и методы решения задач теории вязкоупругости. Вязкоупругая аналогия. Вязкоупругие свойства композиционных материалов.

Краевые задачи теорий пластичности и ползучести. Концентрация напряжений и деформаций.

Конструкционная прочность и теория надежности

Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии. Усталостное разрушение, его физическая природа. Малоцикловая усталость. Длительная прочность. Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Влияние концентрации напряжений на прочность.

Механика разрушения. Основные гипотезы механики разрушения. Напряжения и деформации вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы к механике разрушения. Устойчивая и неустойчивая трещины. Вязкость разрушения и критический коэффициент интенсивности напряжений. Учет пластических деформаций в вершине трещины. Диаграммы статического и циклического роста трещин. Расчеты на трещиностойкость.

Особенности деформирования и характер разрушения композиционных материалов при различных схемах армирования слоев и условиях нагружения.

Основные понятия теории надежности. Функция надежности. Связь между надежностью и долговечностью. Надежность составных систем. Резервирование. Оценки для вероятности редких выбросов и для функции надежности. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надежности. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Основные понятия механики сплошной среды.
2. Аксиоматические основы классической теории упругости.
3. Напряженно-деформированное состояние. Постановка задачи линейной теории упругости.
4. Плоское напряженное состояние и плоская деформация.
5. Общие теоремы теории упругости.
6. Двумерные задачи теории упругости.
7. Анализ напряжений и деформаций в пространственном случае.
8. Вариационные принципы статики линейно-упругого тела.
9. Специальные задачи линейной теории упругости.
10. Теория тонкостенных стержней открытого профиля. Свободное и стесненное кручение.
11. Теория тонкостенных стержней закрытого профиля. Свободное и стесненное кручение.
12. Классическая теория изгиба пластин.
13. Точные и приближенные методы решения краевых задач классической теории изгиба пластин.

14. Неклассические теории пластин.
15. Классическая теория оболочек.
16. Методы расчета оболочек.
17. Ортоанотропные оболочки.
18. Неклассические теории оболочек.
19. Модели упругопластического тела. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение различных теорий пластичности.
20. Задачи теории пластичности.
21. Теория ползучести. Постановка задач и методы решения.
22. Теория линейной вязкоупругости. Постановка и методы решения задач.
23. Краевые задачи теорий пластичности и ползучести.
24. Физические основы прочности материалов.
25. Механика разрушения.
26. Теория надежности технических объектов. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Конструирование машин. Т. 1, 2. М.: Машиностроение, 1994.
2. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Основы проектирования машин. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985.
3. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1971.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.
5. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Физматгиз, 1966.
6. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988.
7. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984.
8. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979.
9. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ, 1999.
10. Аэрогидроупругость конструкций / А.Г. Горшков, В.И. Морозов, А.Т. Пономарев, Ф.И. Шклярчук. М.: Физматлит, 2000.
11. Пестриков В.Н., Морозов Е.Н. Механика разрушения твердых тел. Курс лекций. СПб.: Профессия, 2001.
12. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Лань, 2005. – 656 с.

Дополнительная литература:

1. А. В. Александров, В. Д. Потапов, В. Б. Зылев, Строительная механика. Динамика и устойчивость упругих систем. Учеб. пособие для вузов В 2-х кн Кн:2, 2008. – 384 с.
2. В.И. Погорелов. Строительная механика тонкостенных конструкций - С.-Пб.:БХВ-Петербург. – 2007. – 528 с.
3. Светлицкий В.А. Строительная механика машин. Механика стержней. Том 1. Динамика, М.: Лань, 2009. – 408 с.
4. Светлицкий В.А. Строительная механика машин. Механика стержней. Том 2. Динамика, М.: Лань, 2009. – 384 с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: Office; Windows; MathCad; Matlab; Ansys; Fidesys; AutoCAD (версия для обучающихся и преподавателей).

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ
<http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

канд. техн. наук, доцент


А.А.Шипков

Заведующий кафедрой
Робототехники, мехатроники,
динамики и прочности машин
докт. техн. наук, профессор


И.В.Меркурьев

Директор ЭнМИ
докт. техн. наук, профессор


И.В.Меркурьев