МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ)

Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
15.03.06 Мехатроника и робототехника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Прочностной анализ элементов конструкций

Направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль): Автоматизация и роботизация технологических процессов

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде электронного документа выгружена из единой корпоративной информационной системы управления университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 610876
Подписал: заведующий кафедрой Григорьев Павел Александрович
Дата: 01.06.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью изучения дисциплины (модуля) является:

- формирование знаний о механических свойствах материалов;
- развитие навыков применения методов прочностного анализа;
- подготовка к решению практических задач в области мехатроники и робототехники.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- изучение основных понятий и принципов механики материалов;
- осовоение методов анализа статических и динамических нагрузок;
- формирование навыков проведения численного моделирования;
- формирование навыков предельных состояний конструкций;
- изучение порядка разработки рекомендаций по выбору материалов;
- освоение методов исследования влияния геометрических параметров на прочность конструкций.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности;

ОПК-2 - Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации при решении задач профессиональной деятельности;

ПК-1 - Способен осуществлять разработку конструкторской документации на специализированное оборудование мехатронных и робототехнических систем.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- основные механические свойства материалов;
- методы прочностного анализа;
- нормативные документы и стандарты: касающиеся проектирования и анализа конструкций.

Уметь:

- проводить расчет прочности конструкций;

- использовать программное обеспечение для численного моделирования и проведения прочностного анализа;

- интерпретировать результаты анализа.

Владеть:

- навыками работы с инженерными расчетами;

- способностью проводить оценку результатов экспериментальных исследований;

- навыками разработки и оптимизии конструкций с учетом прочностных характеристик и условий эксплуатации.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 5 з.е. (180 академических часа(ов).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов		
	Всего	Семестр	
		№3	№4
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	112	64	48
В том числе:			
Занятия лекционного типа	48	32	16
Занятия семинарского типа	64	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 68 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Введение в прочностной анализ Рассматриваемые вопросы: - Основные понятия: напряжение, деформация, прочность, жесткость. - Виды нагрузок (статические, динамические, циклические). - Критерии разрушения: хрупкое, пластическое, усталостное. - Роль прочностного анализа в проектировании мехатронных систем.
2	Материалы в конструкциях Рассматриваемые вопросы: - Свойства конструкционных материалов (металлы, композиты, полимеры). - Диаграммы растяжения и сжатия. - Влияние температуры на механические свойства. - Выбор материалов для робототехнических систем.
3	Напряженно-деформированное состояние Рассматриваемые вопросы: - Тензор напряжений и деформаций. - Плоское и объемное напряженное состояние. - Закон Гука для изотропных материалов.
4	Расчеты на прочность при статических нагрузках Рассматриваемые вопросы: - Коэффициент запаса прочности. - Методы расчета балок, валов, пластин. - Учет концентраторов напряжений.
5	Динамические нагрузки и усталость Рассматриваемые вопросы: - Понятие усталостной прочности. - Кривые Велера и предел выносливости. - Методы снижения усталостных повреждений.
6	Метод конечных элементов (МКЭ) Рассматриваемые вопросы: - Основы МКЭ: дискретизация, узлы, элементы. - Программные инструменты. - Построение сетки и граничные условия. - Валидация результатов моделирования.
7	Численные методы в прочностном анализе Рассматриваемые вопросы: - Решение систем уравнений в МКЭ. - Итерационные методы (метод Ньютона-Рафсона). - Обработка данных расчетов.
8	Контактные задачи Рассматриваемые вопросы: - Напряжения в зоне контакта. - Моделирование трения и износа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- Пример: соединения шестерен в приводных системах. - Оптимизация контактных поверхностей.
9	Устойчивость конструкций Рассматриваемые вопросы: - Продольный изгиб и критические нагрузки. - Формула Эйлера и её модификации. - Расчет устойчивости колонн и стержней.
10	Термоупругость Рассматриваемые вопросы: - Тепловые напряжения и деформации. - Уравнения термоупругости. - Методы компенсации тепловых деформаций.
11	Оптимизация конструкций Рассматриваемые вопросы: - Цели оптимизации: минимизация массы, максимизация прочности. - Методы топологической оптимизации. - Использование ПО.
12	Экспериментальные методы анализа Рассматриваемые вопросы: - Испытания на растяжение, сжатие, кручение. - Тензометрия и датчики деформации. - Обработка экспериментальных данных. - Корреляция численных и экспериментальных результатов.
13	Анализ композитных материалов Рассматриваемые вопросы: - Анизотропия свойств композитов. - Моделирование слоистых структур в МКЭ. - Расчет прочности при многоосном нагружении.
14	Ударные нагрузки Рассматриваемые вопросы: - Динамические модели удара. - Метод импульсных сил. - Расчет защитных конструкций.
15	Надежность и долговечность Рассматриваемые вопросы: - Вероятностные методы оценки надежности. - Факторы износа и коррозии. - Прогнозирование срока службы .
16	Автоматизация расчетов Рассматриваемые вопросы: - Скрипты и макросы в инженерном ПО. - Параметрическое моделирование. - Генерация отчетов и графиков. - Интеграция с CAD-системами.
17	Анализ болтовых и заклепочных соединений Рассматриваемые вопросы: - Расчет напряжений в болтах при растяжении и срезе. - Коэффициенты запаса для соединений. - Влияние вибраций на ослабление крепежа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
18	Прочностной анализ пружин Рассматриваемые вопросы: - Типы пружин: винтовые, тарельчатые, торсионные. - Расчет напряжений и деформаций. - Учет усталости при циклических нагрузках.
19	Анализ тонкостенных оболочек Рассматриваемые вопросы: - Основные уравнения теории оболочек. - Напряжения в цилиндрических и сферических оболочках. - Учет внешнего давления и изгиба. - Валидация моделей в МКЭ.
20	Прочность при кручении Рассматриваемые вопросы: - Напряжения и деформации в валах. - Расчет критических скоростей вращения. - Учет концентраторов напряжений (шлицы, канавки).
21	Анализ рамных конструкций Рассматриваемые вопросы: - Расчет статически определимых и неопределимых рам. - Учет температурных деформаций и осадки опор. - Пример: рама мобильного робота-платформы. - Оптимизация массы при сохранении прочности.
22	Прочностной анализ ременных и цепных передач Рассматриваемые вопросы: - Нагрузки в ремнях и цепях: натяжение, изгиб. - Расчет ресурса передачи с учетом износа. - Динамическое моделирование передач.
23	Анализ корпусных элементов Рассматриваемые вопросы: - Расчет жесткости корпусов при комбинированных нагрузках. - Учет вибраций и резонансных частот.
24	Анализ сварных соединений Рассматриваемые вопросы: - Напряжения в зоне сварного шва. - Методы расчета сварных соединений. - Дефекты сварки и их влияние на прочность.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Основы расчета напряжений и деформаций В результате выполнения практического задания студенты определят напряжения и деформации в стержнях при растяжении и сжатии, используя закон Гука, и проанализируют влияние материала на жесткость конструкции.
2	Построение диаграмм растяжения материалов В результате выполнения практического задания студенты построят диаграммы растяжения для

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	различных материалов, определят пределы прочности, текучести и сравнят их поведение при разрушении.
3	Расчет главных напряжений в пластинах В результате выполнения практического задания студенты рассчитают главные напряжения и углы их направления для пластины с отверстием, используя метод кругов Мора.
4	Анализ геометрических концентраторов напряжений В результате выполнения практического задания студенты исследуют влияние проточек, отверстий и переходов сечений на распределение напряжений в конструкциях.
5	Расчет балок на изгиб В результате выполнения практического задания студенты определят прогибы и напряжения в балках при статических нагрузках, используя аналитические методы и численное моделирование.
6	Моделирование усталостной долговечности В результате выполнения практического задания студенты рассчитают ресурс детали при циклических нагрузках на основе кривых усталости и предложат методы повышения её долговечности.
7	Основы метода конечных элементов В результате выполнения практического задания студенты создадут простую модель конструкции, проведут её дискретизацию и проанализируют распределение напряжений.
8	Анализ контактных напряжений в соединениях В результате выполнения практического задания студенты изучат распределение напряжений в зоне контакта двух деталей и оценят влияние трения на износ.
9	Расчет критических нагрузок при продольном изгибе В результате выполнения практического задания студенты определят критические нагрузки для колонн и стержней, учитывая условия закрепления и геометрию.
10	Термоупругий анализ конструкций В результате выполнения практического задания студенты рассчитают тепловые деформации и напряжения в пластине и предложат методы их компенсации.
11	Топологическая оптимизация деталей В результате выполнения практического задания студенты оптимизируют геометрию конструкции для снижения массы при сохранении прочности.
12	Экспериментальное измерение деформаций В результате выполнения практического задания студенты проведут измерения деформаций на образце с использованием тензометрии и сопоставят данные с теоретическими расчетами.
13	Анализ многослойных композитных структур В результате выполнения практического задания студенты рассчитают прочность слоистых композитов при комбинированных нагрузках и оценят их анизотропные свойства.
14	Расчет динамических нагрузок при ударе В результате выполнения практического задания студенты определят напряжения в защитной конструкции при ударном воздействии и предложат методы усиления.
15	Вероятностная оценка надежности В результате выполнения практического задания студенты оценят вероятность отказа узла конструкции с учетом статистических данных о нагрузках и свойствах материалов.
16	Автоматизация инженерных расчетов В результате выполнения практического задания студенты напишут алгоритм для параметрического расчета напряжений в типовых элементах конструкций.
17	Анализ болтовых соединений В результате выполнения практического задания студенты рассчитают напряжения в болтах при комбинированных нагрузках (растяжение, срез) и оценят запас прочности.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
18	Проектирование пружин для амортизации В результате выполнения практического задания студенты определят параметры пружин для гашения вибраций и проверят их работоспособность в среде моделирования.
19	Расчет тонкостенных оболочек В результате выполнения практического задания студенты определят напряжения в цилиндрических и сферических оболочках при внешнем давлении и изгибе.
20	Анализ крутильных деформаций В результате выполнения практического задания студенты рассчитают угол закручивания валов и оценят влияние геометрических особенностей на распределение напряжений.
21	Проектирование рамных конструкций В результате выполнения практического задания студенты спроектируют раму мобильной платформы, проведут расчёты на жёсткость и оптимизируют её массу.
22	Исследование ременных и цепных передач В результате выполнения практического задания студенты определят натяжение, износ и ресурс передачи, а также смоделируют её поведение при динамических нагрузках.
23	Анализ корпусов для экстремальных условий В результате выполнения практического задания студенты оценят прочность корпуса при воздействии высокого давления, вибраций и температурных перепадов.
24	Документирование инженерных расчётов В результате выполнения практического задания студенты оформят отчёт с чертежами, графиками и выводами, соответствующими стандартам технической документации.
25	Анализ сварных швов В результате выполнения практического задания студенты рассчитают напряжения в сварных соединениях и оценят влияние дефектов на прочность конструкции.
26	Исследование ползучести материалов В результате выполнения практического задания студенты изучат деформации материалов при длительных нагрузках и высоких температурах, а также спрогнозируют срок службы детали.
27	Расчет резьбовых соединений В результате выполнения практического задания студенты определят напряжения в резьбе при затяжке и эксплуатации, а также оценят риск самоотвинчивания.
28	Анализ вибраций в конструкциях В результате выполнения практического задания студенты рассчитают резонансные частоты элементов конструкции и предложат методы их демпфирования.
29	Исследование биметаллических элементов В результате выполнения практического задания студенты проанализируют напряжения в биметаллических пластинах при нагреве и их применение в терморегулирующих устройствах.
30	Расчет несущей способности крепежных узлов В результате выполнения практического задания студенты оценят несущую способность соединений (заклёпки, штифты) при различных типах нагружения.
31	Анализ крупногабаритных конструкций В результате выполнения практического задания студенты изучат методы расчёта пролетных конструкций, учитывая распределённые и точечные нагрузки.
32	Прочностной анализ в аварийных сценариях В результате выполнения практического задания студенты смоделируют поведение конструкции при экстремальных нагрузках (падение, взрыв) и предложат решения для повышения живучести.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Изучение дополнительной литературы
2	Подготовка к практическим занятиям
3	Подготовка к промежуточной аттестации
4	Подготовка к текущему контролю
5	Выполнение расчетно-графической работы.
6	Подготовка к контрольной работе.
7	Подготовка к промежуточной аттестации.
8	Подготовка к текущему контролю.

4.4. Примерный перечень тем видов работ

1. Примерный перечень тем контрольных работ

Вариант 1

1. Задача: Стальной стержень длиной 2 м и диаметром 20 мм нагружен осевой силой 50 кН. Определите напряжение и удлинение стержня. Модуль упругости стали: E=200?ГПа.

2. Теория: Перечислите критерии разрушения материалов. Объясните, чем отличается хрупкое разрушение от пластического.

3. Расчет: Для балки длиной 4 м с шарнирным опиранием по краям, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой q=10?кН/м, определите максимальный прогиб. Момент инерции сечения I=5?10?5?м4.

4. Анализ: Назовите методы снижения усталостных повреждений в деталях машин. Приведите пример для вала двигателя.

Вариант 2

1. Задача: Алюминиевая пластина толщиной 5 мм подвергается растяжению с силой 15 кН. Ширина пластины 50 мм. Определите напряжение и деформацию. E=70?ГПа.

2. Теория: Опишите виды напряженного состояния (объемное, плоское, линейное). Приведите примеры из робототехники.

3. Расчет: Рассчитайте главные напряжения для элемента, находящегося под действием ?x=80?МПа?x=80МПа, ?y=?30?МПа?y=?30МПа, ?xy=20?МПа?xy=20МПа.

4. Анализ: Почему в композитных материалах возникает анизотропия свойств? Как это учитывается при проектировании?

Вариант 3

1. Задача: Медный вал диаметром 30 мм передает крутящий момент 500 Н·м. Определите угол закручивания на длине 1.5 м. G=40?ГПа.

2. Теория: Объясните понятие "концентратор напряжений". Приведите три примера геометрических концентраторов.

3. Расчет: Для колонны длиной 3 м и моментом инерции I=8?10?6?м4. Определите критическую силу по формуле Эйлера. Модуль упругости E=200?Гпа.

4. Анализ: Какие факторы влияют на выбор материала для экзоскелета? Обоснуйте ответ.

Вариант 4

1. Задача: Чугунная балка прямоугольного сечения (100 мм ? 200 мм) нагружена изгибающим моментом 10 кН·м. Определите максимальное напряжение.

2. Теория: Опишите этапы метода конечных элементов (МКЭ). Для каких задач он наиболее эффективен?

3. Расчет: Пластина из титанового сплава нагревается на ?T=150?C. Коэффициент теплового расширения ?=9?10?6?1/?C. Определите тепловую деформацию.

4. Анализ: Как вибрации влияют на долговечность робототехнических систем? Предложите методы защиты.

Вариант 5

1. Задача: Пружина сжатия имеет диаметр проволоки 8 мм, средний диаметр витка 50 мм и 10 витков. Определите жесткость пружины. G=80?ГПа.

2. Теория: Перечислите этапы топологической оптимизации. Какие ограничения учитываются при её проведении?

3. Расчет: Для стали с пределом выносливости ??1=300?Мпа определите допустимую амплитуду напряжения при коэффициенте запаса n=2n=2.

4. Анализ: Почему при расчете сварных швов важно учитывать дефекты? Какие дефекты наиболее критичны?

Вариант 6

1. Задача: Цилиндрическая оболочка радиусом 1 м и толщиной 10 мм подвергается внутреннему давлению 2 МПа. Определите окружное напряжение.

2. Теория: Объясните разницу между статическими и динамическими нагрузками. Приведите примеры для дрона.

3. Расчет: Для вала диаметром 40 мм, передающего мощность 20 кВт при 1500 об/мин, определите максимальное касательное напряжение.

4. Анализ: Какие методы используются для экспериментального измерения деформаций? Опишите принцип тензометрии.

Вариант 7

1. Задача: Композитная пластина (слои: углепластик + алюминий) нагружена растягивающей силой 25 кН. Толщина слоев: 2 мм и 3 мм. Определите напряжение в каждом слое.

2. Теория: Опишите принцип метода импульсных сил для анализа ударных нагрузок.

3. Расчет: Для болта М16 (площадь сечения 144 мм?), затянутого с силой 20 кН, определите напряжение растяжения.

4. Анализ: Как тепловые деформации влияют на точность позиционирования робота-манипулятора?

Вариант 8

1. Задача: Стальная труба длиной 2 м с внешним диаметром 60 мм и толщиной стенки 5 мм нагружена крутящим моментом 1 кН·м. Определите угол закручивания. G=80?ГПа.

2. Теория: Что такое "усталостная трещина"? На каких этапах проектирования её можно предотвратить?

3. Расчет: Для плоского напряженного состояния (?x=100?МПа?x=100МПа, ?y=?40?МПа?y=?40МПа, ?xy=30?МПа?xy=30МПа) постройте круг Мора.

4. Анализ: Зачем при автоматизации расчетов используют параметрическое моделирование? Приведите пример.

Вариант 9

1. Задача: Алюминиевый стержень длиной 1.5 м и площадью сечения 50 мм? нагрет на 80°С. Определите тепловое напряжение, если деформация запрещена. ?=23?10?6?1/?С.

2. Теория: Опишите методы компенсации тепловых деформаций в робототехнике.

3. Расчет: Для статически неопределимой рамы определите реакции опор. Исходные данные: длина балки 3 м, нагрузка q=5?кН/м.

4. Анализ: Какие преимущества и недостатки имеют композитные материалы по сравнению с металлами?

Вариант 10

1. Задача: Пружина растяжения имеет жесткость 500 Н/м и удлиняется на 0.1 м. Определите запасенную энергию.

2. Теория: Объясните, как коэффициент запаса прочности влияет на массу конструкции.

3. Расчет: Для шестерни с модулем 4 мм и числом зубьев 20 определите контактные напряжения при передаваемой мощности 15 кВт.

4. Анализ: Почему при проектировании корпусов подводных роботов учитывают гидростатическое давление? Приведите пример расчета.

№2

Вариант 1

1. Задача: Болт М10 (площадь сечения 58 мм?) нагружен растягивающей силой 12 кН и срезающей силой 8 кН. Определите эквивалентное напряжение по критерию Мизеса.

2. Теория: Объясните, как вибрации влияют на прочность болтовых соединений. Какие методы предотвращения ослабления крепежа вы знаете?

3. Расчет: Цилиндрическая оболочка радиусом 0.5 м и толщиной 6 мм подвергается внутреннему давлению 1.2 МПа. Рассчитайте окружное напряжение.

4. Анализ: Почему при проектировании сварных швов важно учитывать дефекты?

Вариант 2

1. Задача: Винтовая пружина с диаметром проволоки 5 мм и средним диаметром витка 30 мм имеет 12 витков. Определите её жесткость при G=80?Гпа.

2. Теория: Назовите типы пружин и их применение в робототехнике. Чем отличается работа тарельчатой пружины от торсионной?

3. Расчет: Стальной вал диаметром 40 мм передает крутящий момент 600 Н·м. Определите угол закручивания на длине 2 м (G=80?ГПа).

4. Анализ: Как концентраторы напряжений (шлицы, канавки) влияют на долговечность валов? Предложите методы снижения их воздействия.

Вариант 3

1. Задача: Сферическая оболочка радиусом 1.2 м и толщиной 8 мм выдерживает внешнее давление 0.8 МПа. Рассчитайте меридиональное напряжение.

2. Теория: Опишите методы валидации моделей тонкостенных оболочек в МКЭ. Какие параметры критичны для точности?

3. Расчет: Рама мобильного робота нагружена вертикальной силой 5 кН. Определите реакции опор, если длина балки 1.5 м, а нагрузка приложена посередине.

4. Анализ: Почему при расчете цепных передач учитывают динамические нагрузки? Приведите пример для конвейерной системы.

Вариант 4

1. Задача: Заклепочное соединение нагружено срезающей силой 15 кН. Диаметр заклепки 10 мм. Определите напряжение среза.

2. Теория: Объясните, как коэффициент запаса прочности связан с надежностью соединений. Какое значение рекомендуется для авиационных конструкций?

3. Расчет: Ремень передачи нагружен силой натяжения 800 Н. Ширина ремня 50 мм, толщина 6 мм. Определите напряжение растяжения.

4. Анализ: Какие факторы снижают ресурс цепных передач? Как их можно компенсировать?

Вариант 5

1. Задача: Торсионная пружина из стали (G=75?ГПа) имеет длину 0.5 м и диаметр проволоки 4 мм. Определите крутящий момент, вызывающий угол закручивания 30°.

2. Теория: Опишите, как учитывают усталость при проектировании пружин для роботов-манипуляторов.

3. Расчет: Сварной шов длиной 100 мм и катетом 6 мм нагружен силой 20 кН. Определите напряжение в шве.

4. Анализ: Почему корпуса роботов часто проектируют с учетом резонансных частот?

Вариант 6

1. Задача: Болт М12 (площадь сечения 84 мм?) затянут с силой 25 кН. Определите напряжение растяжения и запас прочности, если предел текучести материала 640 МПа.

2. Теория: Какие уравнения теории оболочек используются для расчета цилиндрических конструкций? Приведите пример.

3. Расчет: Цепная передача имеет шаг 15 мм и передает мощность 10 кВт при скорости 100 об/мин. Определите нагрузку на цепь.

4. Анализ: Как вибрации влияют на жесткость корпусов промышленных роботов? Предложите методы демпфирования.

Вариант 7

1. Задача: Пластинчатая пружина из углепластика длиной 0.3 м и толщиной 3 мм нагружена силой 500 Н. Определите прогиб (E=120?ГПа).

2. Теория: Объясните, как внешнее давление влияет на устойчивость тонкостенных оболочек.

3. Расчет: Вал с шлицем (концентратор напряжений Kt=2.5) нагружен крутящим моментом 400 Н·м. Диаметр вала 30 мм. Определите максимальное касательное напряжение.

4. Анализ: Почему сварные соединения редко используют в высокочастотных вибрационных системах?

Вариант 8

1. Задача: Сферическая оболочка толщиной 5 мм выдерживает внутреннее давление 1 МПа. Радиус оболочки 0.6 м. Рассчитайте эквивалентное напряжение по теории Мизеса.

2. Теория: Назовите методы расчета ресурса ременных передач. Какие параметры наиболее критичны?

3. Расчет: Рама робота-платформы длиной 2 м нагружена равномерно распределенной нагрузкой 3 кН/м. Определите максимальный изгибающий момент.

4. Анализ: Как температурные деформации влияют на сварные соединения в арктических роботах?

Вариант 9

1. Задача: Заклепка диаметром 8 мм испытывает срез от силы 10 кН. Определите напряжение среза и запас прочности (предел прочности материала 300 МПа).

2. Теория: Опишите, как проводят динамическое моделирование цепных передач. Какие параметры учитывают?

3. Расчет: Корпус робота толщиной 4 мм подвергается изгибающему моменту 200 Н·м. Ширина сечения 60 мм. Определите напряжение.

4. Анализ: Почему в экзоскелетах используют тарельчатые пружины? Какие их преимущества?

Вариант 10

1. Задача: Болт М14 (площадь сечения 115 мм?) нагружен растягивающей силой 30 кН и крутящим моментом 50 Н·м. Определите эквивалентное напряжение.

2. Теория: Объясните, как оптимизировать массу рамы робота без потери прочности. Какие методы используют?

3. Расчет: Цилиндрическая оболочка радиусом 0.7 м и толщиной 9 мм подвергается изгибу моментом 1.2 кН·м. Рассчитайте напряжение.

4. Анализ: Какие дефекты сварки наиболее опасны для корпусов подводных роботов? Как их обнаруживают?

2. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

№1

Вариант 1

1. Задача: Стальной стержень длиной 1.5 м и диаметром 20 мм нагружен силой 40 кН.

о Рассчитайте напряжение и удлинение стержня.

о Постройте график зависимости деформации от нагрузки.

о Сравните результаты с алюминиевым стержнем аналогичных размеров (EAl=70?ГПа).

2. Графика: Нарисуйте диаграмму растяжения для стали с пределом текучести 250 МПа и пределом прочности 400 МПа. Укажите основные зоны.

Вариант 2

1. Задача: Пластина с отверстием диаметром 10 мм нагружена напряжениями ?x=100?МПа?x=100МПа, ?y=?50?МПа?y=?50МПа, ?xy=30?МПа?xy=30МПа.

о Определите главные напряжения и угол их направления методом Мора.

о Постройте круг напряжений.

2. Графика: Изобразите распределение напряжений вокруг отверстия в пластине.

Вариант 3

1. Задача: Балка длиной 3 м с заделкой на одном конце нагружена силой 12 кН на свободном конце. Сечение балки — прямоугольник 50 мм ? 100 мм.

о Рассчитайте максимальный прогиб и напряжение изгиба.

о Постройте эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

2. Графика: Сравните прогиб балки из стали (E=200?ГПа) и титана (E=110?ГПа).

Вариант 4

1. Задача: Вал диаметром 30 мм передает крутящий момент 500 Н·м. На валу имеется шпоночный паз (концентратор напряжений Kt=2.3).

о Рассчитайте максимальное касательное напряжение.

о Предложите метод снижения концентрации напряжений.

2. Графика: Постройте график зависимости напряжения от глубины паза.

Вариант 5

1. Задача: Композитная пластина (слои: алюминий 2 мм + углепластик 3 мм) нагружена растягивающей силой 25 кН.

о Определите напряжение в каждом слое.

о Рассчитайте общую деформацию.

2. Графика: Изобразите схему распределения напряжений в слоистой структуре.

Вариант 6

1. Задача: Цилиндрическая оболочка радиусом 1 м и толщиной 8 мм выдерживает внутреннее давление 1.5 МПа.

о Рассчитайте окружное и меридиональное напряжения.

о Оцените запас прочности, если предел текучести материала 300 МПа.

2. Графика: Постройте эпюру напряжений по толщине оболочки.

Вариант 7

1. Задача: Колонна длиной 4 м из стали (E=200?ГПа) имеет квадратное сечение 80 мм ? 80 мм.

о Определите критическую силу по формуле Эйлера.

о Как изменится критическая сила, если колонну укоротить до 3 м?

2. Графика: Постройте график зависимости критической силы от длины колонны.

Вариант 8

1. Задача: Пружина сжатия с диаметром проволоки 6 мм, средним диаметром 40 мм и 10 витками нагружена силой 800 Н.

о Рассчитайте максимальное напряжение и деформацию (G=80?ГПа).

о Постройте график зависимости жесткости пружины от диаметра проволоки.

2. Графика: Сравните характеристики винтовой и тарельчатой пружин.

Вариант 9

1. Задача: Сварной шов длиной 150 мм с катетом 8 мм нагружен силой 30 кН.

о Определите напряжение в шве.

о Оцените влияние дефекта (непровар 10% длины) на прочность.

2. Графика: Изобразите распределение напряжений вдоль шва.

Вариант 10

1. Задача: Ремень передачи шириной 60 мм и толщиной 5 мм нагружен силой натяжения 1.2 кН.

о Рассчитайте напряжение растяжения.

о Определите ресурс ремня при циклической нагрузке (амплитуда 200 Н, частота 10 Гц).

2. Графика: Постройте кривую усталости для материала ремня.

№2

Вариант 1: Анализ болтовых соединений

Задание: Рассчитайте напряжения в болте диаметром 12 мм, который соединяет две стальные пластины (толщиной 10 мм) при растягивающей нагрузке 2000 Н и срезе 1500 Н. Оцените запас прочности, используя предел текучести материала 250 МПа.

Вариант 2: Проектирование пружин для амортизации

Задание: Спроектируйте пружину для гашения вибраций на основе заданных параметров: частота колебаний 5 Гц, амплитуда 0.02 м. Определите необходимые характеристики пружины, такие как жесткость и максимальная деформация.

Вариант 3: Расчет тонкостенных оболочек

Задание: Рассчитайте напряжения в цилиндрической оболочке диаметром 300 мм и толщиной 5 мм, подверженной внешнему давлению 0.5 МПа и внутреннему давлению 0.2 МПа. Оцените влияние изгиба, если оболочка длиной 1 м.

Вариант 4: Анализ крутильных деформаций

Задание: Рассчитайте угол закручивания стального вала диаметром 50 мм и длиной 1.5 м при приложении крутящего момента 100 Н·м. Оцените, как изменение диаметра на 10% повлияет на распределение напряжений.

Вариант 5: Расчет рамных конструкций

Задание: проведите расчет рамы для грузового автомобиля с максимальной нагрузкой 5000 Н. Рассчитайте жёсткость рамы и оптимизируйте её массу, учитывая использование алюминиевого сплава.

Вариант 6: Исследование ременных и цепных передач

Задание: Определите натяжение в ременной передаче, передающей мощность 5 кВт при скорости 1500 об/мин. Рассчитайте износ и ресурс передачи, принимая во внимание коэффициент трения 0.3.

Вариант 7: Анализ корпусов для экстремальных условий

Задание: Оцените прочность корпуса, который будет работать при температуре 100 °C и давлении 2 МПа. Рассчитайте, как вибрации с амплитудой 0.01 м повлияют на прочность конструкции.

Вариант 8: Анализ сварных швов

Задание: Рассчитайте напряжения в сварном соединении стальных пластин (толщина 8 мм) при приложении нагрузки 3000 Н. Оцените влияние дефектов (например, трещин) на прочность сварного шва.

Вариант 9: Исследование ползучести материалов

Задание: Изучите деформации стального образца при постоянной нагрузке 1000 Н и температуре 300 °C в течение 1000 часов. Спрогнозируйте срок службы детали с учетом ползучести.

Вариант 10: Анализ вибраций в конструкциях

Задание: Рассчитайте резонансные частоты для стальной балки длиной 2 м и сечением 20х40 мм. Предложите методы демпфирования, чтобы избежать резонансных явлений при частоте 10 Гц.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Банщикова, И. А. Комплекс ANSYS: нелинейный прочностной анализ конструкций : учебное пособие / И. А. Банщикова, Г. И. Расторгуев. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 94 с. — ISBN 978-5-7782-2816-0.	URL: https://e.lanbook.com/book/118188 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст: электронный.
2	Алямовский, А. А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология / А. А. Алямовский. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 658 с. — ISBN 978-5-97060-646-9.	URL: https://e.lanbook.com/book/131715 (дата обращения: 06.05.2025). - Текст: электронный.
3	Игнатюгин, В. Ю. Трехмерное моделирование и прочностные расчеты в АРМ WinMachine: практикум : учебное пособие / В. Ю. Игнатюгин, Д. С. Воронцов ; под редакцией В. А. Глотова. — Новосибирск : СГУПС, 2021. — 115 с. — ISBN 978-5-00148-212-3.	URL: https://e.lanbook.com/book/270812 (дата обращения: 06.05.2025). - Текст: электронный.
4	Молотников, В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : учебное пособие / В. Я. Молотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-1327-0.	URL: https://e.lanbook.com/book/211064 (дата обращения: 06.05.2025). – Текст: электронный.

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (https://www.miit.ru/);

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (http:/library.miit.ru);

Образовательная платформа «Юрайт» (https://urait.ru/);

Общие информационные, справочные и поисковые системы «Консультант Плюс», «Гарант»;

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (http://e.lanbook.com/);

Электронно-библиотечная система ibooks.ru (http://ibooks.ru/).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Internet Explorer (или другой браузер);
Операционная система Microsoft Windows;
Microsoft Office;
Kompas 3D;
SolidWorks;
Ansys.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 3 семестре.
Экзамен в 4 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

заведующий кафедрой, доцент, к.н. кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» П.А. Григорьев

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС П.А. Григорьев

Председатель учебно-методической комиссии С.В. Володин