

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 1

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

ДОЦ., К.Т.Н., ДОЦ.

(должность, уч. степень, звание)

Р.Н. Целмс

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«15» декабря 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Механика»

(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	27.05.02
Наименование направления подготовки/ специальности	Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники
Наименование направленности/ специализации	Метрологическое обеспечение космических средств
Форма обучения	очная
Год приема	2026

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

доцент, к.т.н., доцент

08.12.25

Е.Э. Аман

\_\_\_\_\_  
(должность, уч. степень, звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 1

«08» декабря 2025 г, протокол № 05

Заведующий кафедрой № 1

д.ф.-м.н.,доц.

\_\_\_\_\_  
(уч. степень, звание)

08.12.25

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

А.О. Смирнов

\_\_\_\_\_  
(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

доц.,к.т.н.,доц.

\_\_\_\_\_  
(должность, уч. степень, звание)

08.12.25

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Н.Ю. Ефремов

\_\_\_\_\_  
(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Механика» входит в образовательную программу высшего образования – программу специалитета по направлению подготовки/ специальности 27.05.02 «Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники» направленности/специализации «Метрологическое обеспечение космических средств». Дисциплина реализуется кафедрой «№1».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

УК-1 «Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением фундаментальных законов классической и прикладной механики для решения задач метрологического обеспечения космических средств. Рассматриваются методы расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций ракет-носителей и космических аппаратов (КА), анализ динамики систем управления ориентацией и стабилизации, оценка вибропрочности и термопрочности измерительных приборов и оборудования. Особое внимание уделяется системному анализу механических процессов, влияющих на точность измерений в космической технике.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: *лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.*

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме зачета (4 семестр), экзамена (5 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский»

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

*Формирование фундаментальной теоретической базы - обеспечение понимания студентами основных законов, аксиом и принципов классической механики (кинематики, статике, динамики, сопротивления материалов), необходимых для описания механического движения и равновесия материальных тел, а также оценки прочности, жёсткости и устойчивости элементов конструкций космических аппаратов. Развитие системного и критического мышления - выработка способности анализировать проблемные ситуации при проектировании и эксплуатации космической техники (вибрации, перегрузки, невесомость, вакуум) и выбирать стратегию действий для обеспечения метрологической надёжности. Подготовка к профессиональной деятельности - получение навыков составления расчётных схем типовых механических систем космического приборостроения (гермоотсеки, рамы, подвесы гироскопов, приводы антенн), определения кинематических и силовых параметров с целью последующего контроля точности измерений.*

1.2. Дисциплина входит в состав обязательной части образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Универсальные компетенции	УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.3.1 знать методы критического анализа и системного подхода УК-1.В.1 владеть навыками системного и критического мышления; методиками постановки цели, определения способов ее достижения

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Математика. Математический анализ»,
- «Математика. Аналитическая геометрия и линейная алгебра»,
- «Физика»

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- «Приборные комплексы беспилотных аэрокосмических систем»,
- «Основы технической эксплуатации и ремонта средств измерений военного назначения»,
- «Основы устройства и эксплуатации космических аппаратов»

## 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№4	№5
1	2	3	4
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	6/ 216	3/ 108	3/ 108
<b>Из них часов практической подготовки</b>			
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	85	51	34
в том числе:			
лекции (Л), (час)	51	34	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)			
лабораторные работы (ЛР), (час)	34	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)			
экзамен, (час)	36		36
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	95	57	38
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Зачет, Экз.,	Зачет,	Экз.,

#### 4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП/КР (час)	СР (час)
Семестр 4					
Раздел 1. Кинематика					
Тема 1.1. Основные понятия кинематики. Механическое движение, системы отсчета. Кинематика точки (траектория, путь, скорость, ускорение). Кинематика твердого тела: поступательное и вращательное движение.	10				15
Тема 1.2. Способы задания движения точки (естественный, координатный, векторный). Скорость и ускорение при различных способах задания.	4				6
	3				5
	3				4
Тема 1.3. Плоскопараллельное движение твердого тела. Мгновенный центр скоростей. Сложное движение точки и теорема Кориолиса (учет вращения Земли для точных приборов).					

<p>Раздел 2. Динамика</p> <p>Тема 2.1. Основные законы динамики (законы Ньютона). Дифференциальные уравнения движения материальной точки. Работа, мощность, кинетическая энергия.</p> <p>Тема 2.2. Динамика вращательного движения твердого тела. Момент инерции, теорема Штейнера. Момент импульса и момент силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.</p> <p>Тема 2.3. Общие теоремы динамики системы: теорема о движении центра масс, теорема об изменении количества движения и момента количества движения.</p> <p>Тема 2.4. Применение законов динамики для анализа движения космических аппаратов (перегрузки, невесомость, управление ориентацией).</p>	<p>14</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>3</p>				<p>22</p> <p>6</p> <p>6</p> <p>5</p> <p>5</p>
<p>Раздел 3. Основы сопротивления материалов</p> <p>Тема 3.1. Основные гипотезы и допущения сопротивления материалов. Метод сечений. Внутренние силовые факторы. Нормальные и касательные напряжения. Понятие о напряженно-деформированном состоянии (НДС).</p> <p>Тема 3.2. Растяжение и сжатие. Закон Гука. Модуль упругости. Коэффициент Пуассона. Расчет на прочность. Расчет герметичных корпусов и сильфонов космических приборов.</p> <p>Тема 3.3. Сдвиг и кручение. Касательные напряжения. Расчет болтовых, заклепочных и шпоночных соединений. Кручение валов приборов.</p> <p>Тема 3.4. Изгиб балок. Чистый и поперечный изгиб. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Расчет на прочность при изгибе.</p> <p>Тема 3.5. Сложное сопротивление. Косой изгиб, изгиб с кручением. Теории прочности. Оценка прочности элементов конструкций КА при сложном нагружении.</p>	<p>10</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>		<p>17</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>1</p>		<p>20</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>
Итого в семестре:	34		17		57
Семестр 5					

Раздел 4. Основы конструирования и расчета механизмов приборов космического назначения Тема 4.1. Основные критерии работоспособности деталей машин и приборов: прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, виброустойчивость. Надежность механических систем в условиях космоса (вакуум, радиация, перепады температур). Тема 4.2. Зубчатые передачи. Классификация. Эвольвентное зацепление. Геометрический, кинематический и прочностной расчет. Кинематическая погрешность и мертвый ход. Зубчатые передачи в приводах антенн и солнечных батарей. Тема 4.3. Передачи трением: фрикционные и ременные передачи. Упругое скольжение. Формула Эйлера. Применение в приводах вспомогательных механизмов КА. Тема 4.4. Валы и оси. Расчет валов на статическую и усталостную прочность. Подшипники качения и скольжения. Выбор подшипников для высокоточных гироскопов и маховиков систем ориентации. Особенности работы в вакууме. Тема 4.5. Соединения деталей машин. Резьбовые, сварные, паяные, клепаные соединения. Герметичность соединений. Расчет резьб на прочность. Проблема самоотвинчивания в условиях невесомости и вибрации. Тема 4.6. Упругие элементы в приборостроении: пружины, мембраны, сильфоны. Расчет на жесткость и прочность. Применение в датчиках давления, акселерометрах, виброизоляторах. Тема 4.7. Основы конструирования механизмов космических приборов. Технологичность, взаимозаменяемость, стандартизация. Вакуумная совместимость материалов. Анализ и устранение механических причин метрологических отказов.					
	17		17		38
	2				5
	3		1		6
	2		4		5
	3		4		6
	3		4		6
	2		4		5
	2				5
Итого в семестре:	17		17		38
Итого	51	0	34	0	95

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

#### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
<b>1</b>	<p>Раздел 1. Кинематика</p> <p>Тема 1.1. Основные понятия кинематики. Механическое движение, системы отсчета. Кинематика точки (траектория, путь, скорость, ускорение). Кинематика твердого тела: поступательное и вращательное движение.</p> <p>Предмет кинематики. Механическое движение как изменение положения тела в пространстве с течением времени. Абсолютная, относительная и переносная системы отсчета. Материальная точка как модель. Траектория, путь, перемещение (определения, различия, единицы измерения). Степени свободы твердого тела (6 степеней свободы в пространстве). Поступательное движение твердого тела (свойства, примеры: движение космического аппарата при коррекции орбиты). Вращательное движение вокруг неподвижной оси: угол поворота, угловая скорость, угловое ускорение (векторная и скалярная формы записи). Связь линейных и угловых кинематических характеристик: <math>v = \omega \cdot R</math>, <math>a_{\tau} = \varepsilon \cdot R</math>, <math>a_n = \omega^2 \cdot R</math>.</p> <p>Тема 1.2. Способы задания движения точки (естественный, координатный, векторный). Скорость и ускорение при различных способах задания.</p> <p>Естественный способ задания движения (траектория, закон движения по траектории). Скорость и ускорение при естественном способе: касательное (тангенциальное) ускорение, нормальное (центростремительное) ускорение, полное ускорение. Векторный способ задания движения: радиус-вектор <math>r(t)</math>, скорость <math>v = dr/dt</math>, ускорение <math>a = dv/dt = d^2r/dt^2</math>. Координатный способ задания движения (проекции на оси декартовой системы координат). Скорость и ускорение через проекции: <math>v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}</math>, <math>a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}</math>. Примеры перехода от одного способа к другому (сравнительный анализ удобства применения для различных задач космической механики).</p> <p>Тема 1.3. Плоскопараллельное движение твердого тела. Мгновенный центр скоростей. Сложное движение точки и теорема Кориолиса (учет вращения Земли для точных приборов).</p> <p>Плоскопараллельное движение как сумма поступательного и вращательного движений. Мгновенный центр скоростей (МЦС) — понятие, методы определения, применение для расчета скоростей точек механизмов (кривошипно-ползунные, шарнирные четырехзвенники). Примеры плоскопараллельного движения в космической технике: движение выдвижных элементов антенн, раскрытие панелей солнечных батарей. Сложное движение точки: абсолютное движение = относительное + переносное. Теорема Кориолиса: <math>a_{abs} = a_{rel} + a_{trans} + a_{cor}</math>. Ускорение Кориолиса: <math>a_{cor} = 2 \cdot \omega_{per} \times v_{rel}</math>. Учет вращения Земли как переносного движения (влияние на показания гироскопических приборов систем ориентации). Критический анализ: почему при запуске ракет учитывают вращение Земли (экономия</p>



	топлива), а при посадке — нет?
2	<p>Раздел 2. Динамика</p> <p>Тема 2.1. Основные законы динамики (законы Ньютона). Дифференциальные уравнения движения материальной точки. Работа, мощность, кинетическая энергия.</p> <p>Первый закон Ньютона (закон инерции). Инерциальные системы отсчета. Второй закон Ньютона: <math>F = dp/dt = m \cdot a</math> — фундаментальный закон, связывающий силу, массу и ускорение. Третий закон Ньютона (равенство действия и противодействия). Сила как векторная величина. Масса как мера инертности. Импульс (количество движения) материальной точки. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в инерциальной системе отсчета (в векторной, координатной и естественной формах). Работа силы: <math>dA = F \cdot dr</math>, элементарная работа, работа на конечном перемещении. Мощность: <math>P = dA/dt = F \cdot v</math>. Кинетическая энергия точки: <math>T = mv^2/2</math>. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки: изменение кинетической энергии равно работе всех действующих сил. Потенциальные силы (гравитационные, упругие). Закон сохранения механической энергии: <math>T + \Pi = \text{const}</math>. Системный анализ: применение закона сохранения энергии для расчета скорости входа космического аппарата в атмосферу (превращение потенциальной энергии в кинетическую и тепловую).</p> <p>Тема 2.2. Динамика вращательного движения твердого тела. Момент инерции, теорема Штейнера. Момент импульса и момент силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.</p> <p>Момент инерции материальной точки и твердого тела относительно оси: <math>I = \sum m_i \cdot r_i^2</math>. Теорема Штейнера (о параллельном переносе оси): <math>I = I_c + m \cdot d^2</math>. Момент инерции простейших тел: стержня, кольца, диска, шара, цилиндра. Момент силы относительно оси: <math>M = F \cdot d</math> (скалярная форма), <math>M = r \times F</math> (векторная форма). Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси: <math>M = I \cdot \varepsilon</math> (аналог второго закона Ньютона, где <math>M</math> — аналог силы, <math>I</math> — аналог массы, <math>\varepsilon</math> — аналог ускорения). Кинетическая энергия твердого тела при различных видах движения: поступательном (<math>T = mv_c^2/2</math>), вращательном (<math>T = I \cdot \omega^2/2</math>), плоском (<math>T = mv_c^2/2 + I_c \cdot \omega^2/2</math>). Момент импульса (кинетический момент) твердого тела: <math>L = I \cdot \omega</math>. Закон сохранения момента импульса (<math>I \cdot \omega = \text{const}</math>) — фундаментальная основа систем ориентации космических аппаратов (маховичные системы, эффект «раскрутки» космонавта). Критический анализ: почему для поворота КА в невесомости не требуются реактивные двигатели, а достаточно вращения маховиков?</p> <p>Тема 2.3. Общие теоремы динамики системы: теорема о движении центра масс, теорема об изменении количества движения и момента количества движения.</p> <p>Механическая система. Внешние и внутренние силы (свойства</p>

	<p>внутренних сил: сумма = 0, сумма моментов = 0). Теорема о движении центра масс: <math>M \cdot a_c = \sum F_{\text{внеш}}</math> — центр масс системы движется как материальная точка, в которой сосредоточена вся масса системы и к которой приложены все внешние силы. Теорема об изменении количества движения системы: производная по времени от количества движения системы равна главному вектору внешних сил. Закон сохранения количества движения (для замкнутых систем). Теорема об изменении момента количества движения (кинетического момента): производная по времени от главного момента количества движения относительно неподвижного центра равна главному моменту внешних сил относительно того же центра. Применение к анализу движения космического аппарата: расчет реактивной тяги (уравнение Мещерского, формула Циолковского). Стратегия действий: как изменить орбиту КА, затратив минимальное количество топлива (теория маневров).</p> <p>Тема 2.4. Применение законов динамики для анализа движения космических аппаратов (перегрузки, невесомость, управление ориентацией).</p> <p>Перегрузки (g-силы): определение, расчет, влияние на экипаж и аппаратуру при старте и посадке. Невесомость как состояние свободного падения (отсутствие силы реакции опоры). Особенности динамики в невесомости: необходимость специальных средств фиксации астронавтов и оборудования. Управление ориентацией космических аппаратов: гироскопические системы (прецессия гироскопа, гироскопический момент). Гравитационная стабилизация (вытянутый КА ориентируется по полю силы тяжести). Системный анализ проблемной ситуации: отказ системы ориентации спутника — перечислить механические причины (заклинивание подшипников маховиков, разбалансировка, люфт в редукторах) и предложить стратегию восстановления.</p>
3	<p>Раздел 3. Основы сопротивления материалов</p> <p>Тема 3.1. Основные гипотезы и допущения сопротивления материалов. Метод сечений. Внутренние силовые факторы. Нормальные и касательные напряжения. Понятие о напряженно-деформированном состоянии (НДС).</p> <p>Основные задачи сопротивления материалов: прочность (способность не разрушаться), жесткость (способность сохранять форму под нагрузкой), устойчивость (способность сохранять конфигурацию равновесия). Гипотезы о свойствах материалов: однородность, изотропность, идеальная упругость. Метод сечений (метод РОЗУ — Разрезать, Отбросить, Заменить, Уравновесить). Внутренние силовые факторы: продольная сила <math>N</math>, поперечная сила <math>Q</math>, изгибающий момент <math>M</math>, крутящий момент <math>T</math>. Понятие о напряжении: нормальное напряжение <math>\sigma</math> (перпендикулярно сечению), касательное напряжение <math>\tau</math> (в плоскости сечения). Единицы измерения напряжений (<math>\text{Па} = \text{Н/м}^2</math>).</p>

	<p>МПа = <math>10^6</math> Па). Системный подход к анализу НДС: почему один и тот же элемент конструкции (например, штанга антенны) может работать и на растяжение, и на изгиб, и на кручение в зависимости от режима работы КА?</p> <p>Тема 3.2. Растяжение и сжатие. Закон Гука. Модуль упругости. Коэффициент Пуассона. Расчет на прочность. Расчёт герметичных корпусов и сильфонов космических приборов.</p> <p>Растяжение и сжатие прямого стержня. Нормальные напряжения при растяжении-сжатии: <math>\sigma = N/A</math>, где <math>N</math> — продольная сила, <math>A</math> — площадь поперечного сечения. Закон Гука: <math>\sigma = E \cdot \varepsilon</math>, где <math>\varepsilon = \Delta L/L</math> — относительная деформация, <math>E</math> — модуль упругости первого рода (модуль Юнга). Поперечная деформация: <math>\varepsilon' = -\nu \cdot \varepsilon</math>, где <math>\nu</math> — коэффициент Пуассона (характеристика материала). Расчет на прочность при растяжении-сжатии: условие прочности <math>\sigma_{\max} \leq [\sigma]</math>, где <math>[\sigma] = \sigma_{\text{пред}} / n</math> — допускаемое напряжение, <math>n</math> — коэффициент запаса прочности. Расчет герметичных корпусов космических приборов: цилиндрические и сферические оболочки под внутренним давлением (формула для тонкостенных оболочек: <math>\sigma_{\text{окр}} = pR/t</math>, <math>\sigma_{\text{мер}} = pR/(2t)</math> для цилиндра; <math>\sigma = pR/(2t)</math> для сферы). Критический анализ: почему в задачах космической техники коэффициент запаса прочности выбирают выше (<math>n=2\dots 4</math>), чем в наземных конструкциях (<math>n=1,5\dots 2</math>)?</p> <p>Тема 3.3. Сдвиг и кручение. Касательные напряжения. Расчет болтовых, заклепочных и шпоночных соединений. Кручение валов приборов.</p> <p>Чистый сдвиг. Касательные напряжения при сдвиге: <math>\tau = Q/A_{\text{ср}}</math>. Закон Гука при сдвиге: <math>\tau = G \cdot \gamma</math>, где <math>\gamma</math> — угол сдвига (деформация сдвига), <math>G</math> — модуль сдвига (второго рода). Связь между <math>G</math> и <math>E</math>: <math>G = E / (2 \cdot (1 + \nu))</math>. Расчет болтовых, заклепочных и шпоночных соединений на срез и смятие. Кручение стержня круглого поперечного сечения. Гипотеза плоских сечений. Касательные напряжения при кручении: <math>\tau_{\rho} = (T \cdot \rho) / I_{\rho}</math>, максимальное напряжение <math>\tau_{\max} = T / W_{\rho}</math>, где <math>W_{\rho} = I_{\rho} / R</math> — полярный момент сопротивления. Для сплошного круга: <math>I_{\rho} = \pi d^4 / 32</math>, <math>W_{\rho} = \pi d^3 / 16</math>. Условие прочности при кручении: <math>\tau_{\max} \leq [\tau]</math>. Расчет валов приборов и механизмов на кручение. Применение: валы приводов солнечных батарей, валы гироскопов.</p> <p>Тема 3.4. Изгиб балок. Чистый и поперечный изгиб. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Расчет на прочность при изгибе.</p> <p>Классификация изгиба: чистый (только изгибающий момент) и поперечный (изгибающий момент + поперечная сила). Внутренние усилия при изгибе: поперечная сила <math>Q(x)</math> и изгибающий момент <math>M(x)</math>. Правила знаков. Дифференциальные зависимости Журавского: <math>dM/dx = Q</math>, <math>dQ/dx = -q</math> (где <math>q</math> — распределенная нагрузка). Построение эпюр <math>Q</math> и <math>M</math> — алгоритм, примеры (однопролетная балка, консольная балка, балка с распределенной нагрузкой). Нормальные напряжения при</p>
--	--

	<p>чистом изгибе: <math>\sigma = (M \cdot y) / I_x</math>, где <math>y</math> — расстояние от нейтральной оси, <math>I_x</math> — осевой момент инерции. Формула Навье. Максимальное напряжение: <math>\sigma_{\max} = M_{\max} / W_x</math>, где <math>W_x = I_x / y_{\max}</math> — осевой момент сопротивления. Условие прочности при изгибе: <math>\sigma_{\max} \leq [\sigma]</math>. Подбор сечения балки по сортаменту (двутавры, швеллеры, прямоугольные профили). Расчет несущих конструкций спутников: рамы, фермы, панели (подбор сечения из условия минимальной массы). Стратегия действий: как увеличить жесткость балки при неизменной массе (переход на двутавровое сечение).</p> <p>Тема 3.5. Сложное сопротивление. Косой изгиб, изгиб с кручением. Теории прочности. Оценка прочности элементов конструкций КА при сложном нагружении.</p> <p>Сложное сопротивление — сочетание нескольких простых деформаций: изгиб с кручением, изгиб с растяжением, косой изгиб. Понятие о напряженном состоянии (линейное, плоское, объемное). Главные напряжения — нормальные напряжения на площадках, где касательные напряжения равны нулю. Классические теории прочности (критерии предельного состояния): I теория (наибольших нормальных напряжений — для хрупких материалов); II теория (наибольших линейных деформаций — применяется редко); III теория (наибольших касательных напряжений — для пластичных материалов); IV теория (энергетическая, Мизеса — наиболее точная для пластичных материалов). Эквивалентное напряжение по III теории: <math>\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}</math>. По IV теории: <math>\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}</math>. Расчет валов на совместное действие изгиба и кручения: порядок расчета (построение эпюр <math>M</math> и <math>T</math>, определение опасного сечения, расчет эквивалентного момента). Оценка прочности элементов конструкций космических аппаратов при сложном нагружении (например, штанга антенны под действием ветра и собственного веса при старте).</p>
4	<p>Раздел 4. Основы конструирования и расчета механизмов приборов космического назначения</p> <p>Тема 4.1. Основные критерии работоспособности деталей машин и приборов: прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, виброустойчивость. Надежность механических систем в условиях космоса (вакуум, радиация, перепады температур).</p> <p>Классификация деталей машин и приборов. Основные критерии работоспособности: прочность (статическая и усталостная), жесткость (упругая деформация под нагрузкой), износостойкость (сопротивление изнашиванию трущихся поверхностей), теплостойкость (работоспособность при повышенных температурах), виброустойчивость (сопротивление вибрационным нагрузкам). Надежность механических систем в условиях космоса: сложный комплекс внешних воздействий (вакуум — испарение смазки, радиация — деградация материалов, перепады температур — тепловые деформации, вибрации на старте). Расчетные нагрузки: постоянные</p>

	<p>(вес, давление), переменные (вибрации, пульсации), циклические (периодические изменения). Коэффициенты запаса прочности. Метод допускаемых напряжений и метод предельных состояний (сопоставление). Системный анализ: почему в космической технике вместо одного большого болта часто используют несколько мелких? (резервирование, надежность).</p> <p>Тема 4.2. Зубчатые передачи. Классификация. Эвольвентное зацепление. Геометрический, кинематический и прочностной расчет. Кинематическая погрешность и мертвый ход. Зубчатые передачи в приводах антенн и солнечных батарей.</p> <p>Назначение зубчатых передач: передача вращательного движения с изменением угловых скоростей и крутящих моментов. Классификация: по расположению осей (цилиндрические — параллельные, конические — пересекающиеся, гиперboloидные — скрещивающиеся), по типу зацепления (прямозубые, косозубые, шевронные), по взаимному расположению (внешнее, внутреннее зацепление). Основной закон зацепления (теорема Виллиса): общая нормаль к профилям зубьев в точке контакта проходит через полюс зацепления, делящий межосевое расстояние в отношении, обратном угловым скоростям. Эвольвентное зацепление (геометрия эвольвенты, свойства). Основные геометрические параметры: модуль <math>m = r/\pi</math> (стандартизован), делительный диаметр <math>d = m \cdot z</math>, диаметр вершин <math>d_a = m \cdot (z+2)</math>, диаметр впадин <math>d_f = m \cdot (z-2,5)</math>, межосевое расстояние <math>a_w = m \cdot (z_1 + z_2)/2</math>. Передаточное число <math>u = z_2/z_1 = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2</math>. Силы в зацеплении цилиндрической прямозубой передачи: окружная сила <math>F_t = 2T_1/d_1</math>, радиальная сила <math>F_r = F_t \cdot \tan \alpha</math> (<math>\alpha</math> — угол зацепления, стандартно <math>20^\circ</math>). Расчет на контактную прочность (предотвращение усталостного выкрашивания поверхностей зубьев) и изгибную прочность (предотвращение поломки зуба). Материалы зубчатых колес: стали (цементация, закалка ТВЧ), термообработка. Кинематическая погрешность зубчатой передачи (мертвый ход, люфт) и ее влияние на точность приборов (угловое положение антенны, сканирующих устройств). Применение в космической технике: приводы антенн, солнечных батарей, манипуляторов.</p> <p>Тема 4.3. Передачи трением: фрикционные и ременные передачи. Упругое скольжение. Формула Эйлера. Применение в приводах вспомогательных механизмов КА.</p> <p>Фрикционные передачи: принцип работы (сила трения передает вращение), геометрия (цилиндрические, конические, лобовые). Условие отсутствия буксования: <math>F_{тр} \geq F_{окр}</math>, где <math>F_{тр} = f \cdot N</math>, <math>f</math> — коэффициент трения, <math>N</math> — сила прижатия. КПД фрикционных передач (0,85...0,95). Достоинства: простота, плавность хода, перегрузочная способность (пробуксовка при перегрузке). Недостатки: непостоянство передаточного отношения, большие нагрузки на валы. Ременные передачи: плоские, клиновые, поликлиновые, зубчатые. Кинематика</p>
--	--

	<p>ременной передачи: упругое скольжение (неизбежное явление, обусловленное деформацией ремня), передаточное отношение <math>u = d_2 / d_1 \cdot (1 - \varepsilon)</math>, где <math>\varepsilon</math> — коэффициент скольжения (0,01...0,02). Силы в ременной передаче: <math>F_1</math> — натяжение ведущей ветви, <math>F_2</math> — натяжение ведомой ветви, <math>F_0</math> — начальное натяжение (<math>F_0 = (F_1 + F_2) / 2</math>), полезная окружная сила <math>F_t = F_1 - F_2</math>. Формула Эйлера для ременной передачи: <math>F_1 / F_2 = e^{(f \cdot \alpha)}</math>, где <math>\alpha</math> — угол обхвата, <math>f</math> — коэффициент трения. Напряжения в ремне: от полезной нагрузки, от изгиба (на шкивах), от центробежных сил. Критерии работоспособности: тяговая способность (отсутствие буксования), долговечность (усталостная прочность, износ). Применение в космической технике: ограниченное из-за нестабильности свойств материалов в вакууме (усыхание, растрескивание резины), но возможно во вспомогательных механизмах внутри гермоотсеков.</p> <p>Тема 4.4. Валы и оси. Расчет валов на статическую и усталостную прочность. Подшипники качения и скольжения. Выбор подшипников для высокоточных гироскопов и маховиков систем ориентации. Особенности работы в вакууме.</p> <p>Валы и оси: определения, различия (вал передает крутящий момент, ось — только воспринимает нагрузки от вращающихся деталей). Конструктивные элементы валов: цапфы, шейки, буртики, галтели (уменьшение концентрации напряжений). Расчет валов на статическую прочность (по эквивалентному моменту) и на усталостную прочность (с учетом циклов нагружения). Подшипники качения: шариковые и роликовые, радиальные, упорные, радиально-упорные. Маркировка подшипников. Выбор подшипника по динамической грузоподъемности: <math>L = (C/P)^p</math>, где <math>L</math> — долговечность в млн. оборотов, <math>C</math> — динамическая грузоподъемность (паспортная характеристика), <math>P</math> — эквивалентная динамическая нагрузка, <math>p</math> — показатель степени (3 — для шариковых, 10/3 — для роликовых). Расчет на долговечность: ресурс в часах <math>L_h = 10^6 \cdot L / (60 \cdot n)</math>. Подшипники скольжения: конструкция (втулка из антифрикционного материала, корпус, смазка). Режимы трения: жидкостное (слой масла разделяет поверхности), полужидкостное, граничное, сухое. Условие жидкостного трения: минимальная толщина масляного слоя <math>h_{\min} \geq k \cdot (R_{a1} + R_{a2})</math>. Особенности работы подшипников в космосе: выбор материалов, не требующих жидкой смазки (самосмазывающиеся композиты: полимеры, металлокерамика, например, бронзографит), проблема холодной сварки в вакууме. Применение: подшипники гироскопов, маховиков систем ориентации, приводов антенн. Системный анализ: почему в высокоточных космических приборах предпочитают газостатические или магнитные подшипники вместо шариковых?</p> <p>Тема 4.5. Соединения деталей машин. Резьбовые, сварные, паяные, клепанные соединения. Герметичность соединений. Расчет резьб на</p>
--	---

	<p>прочность. Проблема самоотвинчивания в условиях невесомости и вибрации.</p> <p>Классификация соединений: неразъемные (сварные, паяные, клепаные) и разъемные (резьбовые, шпоночные, шлицевые, штифтовые). Сварные соединения: виды (стыковые, угловые, нахлесточные, тавровые), расчет на прочность (<math>\sigma = F/(t \cdot l_w) \leq [\sigma']</math>), где <math>t</math> — толщина, <math>l_w</math> — длина шва). Паяные соединения: особенности, применение в вакуумной технике (герметичность). Клепаные соединения: применяются в авиационно-космической технике для соединения листовых материалов (алюминиевые сплавы). Резьбовые соединения: крепежные резьбы (метрическая, дюймовая). Основные параметры резьбы: наружный <math>d</math>, внутренний <math>d_1</math>, средний <math>d_2</math> диаметры, шаг <math>P</math>. Расчет резьбовых соединений: на срез витков, на растяжение стержня болта с учетом затяжки. Формула затяжки: <math>F_{\text{зат}} = k \cdot F_{\text{внеш}}</math> (<math>k = 1,3 \dots 2,0</math>).</p> <p>Проблема самоотвинчивания в условиях вибрации и невесомости: контргайки, стопорные шайбы, резьбовые клеи-фиксаторы (анаэробные герметики). Шпоночные соединения: призматические, сегментные, клиновые шпонки. Расчет на смятие и срез. Шлицевые (зубчатые) соединения: более надежны и точны, чем шпоночные. Применение в космической технике: все соединения должны быть герметичны (для приборных отсеков) или вакуумостойки (для открытого космоса).</p> <p>Тема 4.6. Упругие элементы в приборостроении: пружины, мембраны, сильфоны. Расчет на жесткость и прочность. Применение в датчиках давления, акселерометрах, виброизоляторах.</p> <p>Назначение упругих элементов: создание постоянных усилий (пружины), восприятие деформаций (мембраны, сильфоны), виброизоляция (амортизаторы), измерение сил и давлений (датчики).</p> <p>Винтовые цилиндрические пружины растяжения и сжатия: основные параметры (диаметр проволоки <math>d</math>, средний диаметр <math>D</math>, число витков <math>n</math>, шаг <math>t</math>). Расчет на прочность: <math>\tau = k \cdot (8 \cdot F \cdot D) / (\pi \cdot d^3) \leq [\tau]</math>, где <math>k</math> — поправочный коэффициент, учитывающий кривизну витков. Расчет жесткости: <math>c = F/\lambda = (G \cdot d^4) / (8 \cdot D^3 \cdot n)</math>. Тарельчатые пружины (для больших нагрузок при малых деформациях). Мембраны (плоские, гофрированные) и сильфоны (тонкостенные гофрированные трубки) — применяются в датчиках давления (измерение давления топливных баков, герметичности отсеков), в акселерометрах (измерение перегрузок).</p> <p>Упругие элементы виброизоляторов: резинометаллические, пружинные, цельнометаллические (для вакуума и радиации). Расчет виброизоляции: коэффициент передачи вибрации <math>\mu = 1/(f/f_0)^2 - 1</math>, где <math>f</math> — частота возмущения, <math>f_0</math> — собственная частота системы. Стратегия действий: как подобрать виброизоляторы для космического прибора, чтобы уйти от резонанса?</p> <p>Тема 4.7. Основы конструирования механизмов космических приборов. Технологичность, взаимозаменяемость, стандартизация. Вакуумная совместимость материалов. Анализ и устранение механических причин</p>
--	--

	<p>метрологических отказов.</p> <p>Этапы проектирования: техническое задание (ТЗ) → эскизный проект → технический проект → рабочая конструкторская документация (РКД). Принципы конструирования: технологичность (минимальная трудоемкость изготовления), экономичность (минимум материалоемкости), взаимозаменяемость (точность изготовления по ГОСТ), стандартизация (использование стандартных деталей), унификация (повторяемость узлов). Система ЕСКД (Единая система конструкторской документации): чертежи, спецификации, требования к оформлению. Основы оптимизации конструкций по массе, жесткости и прочности: методы (топологическая оптимизация, конечно-элементный анализ). Особые требования к космической технике: вакуумная совместимость материалов (отсутствие газовыделения, стойкость к радиации), минимальная масса (каждый килограмм вывода на орбиту стоит ~10 000 \$), тепловой режим (учет теплового расширения). Анализ и устранение механических причин метрологических отказов (на примерах: потеря точности гироскопа из-за износа подшипника, разрегулировка антенны из-за температурных деформаций). Стратегия действий при проектировании нового прибора: построение «дерева отказов» и расчет вероятности безотказной работы механической системы.</p>
--	--

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

#### 4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 4				
1	Определение механических характеристик материала при растяжении	4		3
2	Определение модуля сдвига при кручении	4		3
3	Исследование плоского изгиба консольного стержня прямоугольного	4		3



	поперечного сечения			
4	Исследование косого изгиба консольного стержня прямоугольного поперечного сечения	4		3
5	Оценка прочности лонжерона крыла при изгибе (модель - балка с распределённой нагрузкой от аэродинамических сил).	1		3
Семестр 5				
6	Исследование КПД зубчатых передач	1		4
7	Исследование рабочих процессов ременных передач	4		4
8	Исследование КПД винтовых механизмов	4		4
9	Исследование точности зубчатого механизма	4		4
10	Исследование трения в подшипниках качения	4		4
Всего		34		

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы  
Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся  
Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 4, час	Семестр 5, час
1	2	3	4
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	58	30	28
Курсовое проектирование (КП, КР)			
Расчетно-графические задания (РГЗ)			
Выполнение реферата (Р)			
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	19	14	5
Домашнее задание (ДЗ)			
Контрольные работы заочников (КРЗ)			
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	18	13	5
Всего:	95	57	38

5. Перечень учебно-методического обеспечения  
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)  
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. разделов 6-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.  
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
<a href="https://e.lanbook.com/book/238736">https://e.lanbook.com/book/238736</a> Режим доступа: для авториз. пользователей	Диевский, В. А. Теоретическая механика / В. А. Диевский. — 5-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 348 с. — ISBN 978-5-507-44713-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
	Люкшин, Б. А. Теоретическая механика : учебно-методическое пособие / Б. А. Люкшин, Н. Ю. Гришаева, Г. Е. Уцын. — Москва : ТУСУР, 2020. — 184 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/313760">https://e.lanbook.com/book/313760</a> (дата обращения: 15.07.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	
<a href="https://e.lanbook.com/book/341261">https://e.lanbook.com/book/341261</a> Режим доступа: для авториз. пользователей.	Сопротивление материалов / Б. Е. Мельников, Л. К. Паршин, А. С. Семенов, В. А. Шерстнев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 576 с. — ISBN 978-5-507-48147-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
Библиотека ГУАП	Сопротивление материалов : методические указания к выполнению домашнего задания / С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения ; сост.: А. И. Скалон [и др.]. - СПб. : Изд-во ГУАП, 2018. - 30 с. : рис. - Библиогр.: с. 29 (5 назв.). - Б. ц. - Текст : непосредственный.	5

Библиотека ГУАП	Расчет и проектирование механизмов приборов : методические указания к выполнению курсового проекта / С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения ; сост. А. И. Скалон [и др.]. - СПб. : Изд-во ГУАП, 2016. - 78 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 78 (9 назв.). - Б. ц. - Текст : непосредственный.	193
Библиотека ГУАП	Ершов, Д. Ю. Теоретическая механика. Кинематика : учебно-методическое пособие / Д. Ю. Ершов, Е. Э. Аман ; ред. А. О. Смирнов ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2023. - 68 с. : рис. - Библиогр.: с. 67 (3 назв.). - Б. ц. - Текст : непосредственный.	5
Библиотека ГУАП	Проектирование мехатронных модулей механических систем : учебное пособие : в 3 ч. ч. 2. Теоретические основы расчета на прочность и жесткость машин и механизмов / Д. Ю. Ершов, И. Н. Лукьяненко, Е. Э. Аман ; ред. А. О. Смирнов ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2021. - 73 с. : рис. - Библиогр.: с. 72 (5 назв.). - ISBN 978-5-8088-1623-7 : Б. ц. - Текст : непосредственный.	5

#### 7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="https://pro.guap.ru/">https://pro.guap.ru/</a>	Элементы электронного курса по дисциплине размещены внутри ЭИОС ГУАП «Интегрированная среда обучения»
<a href="https://lms.guap.ru">https://lms.guap.ru</a>	Онлайн-курс по дисциплине размещен системе дистанционного обучения ГУАП

#### 8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

## 9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Аудитория для проведения занятий лекционного типа - оснащена специализированной (учебной) мебелью; техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП через точку доступа WiFi); переносным набором демонстрационного оборудования	Фонд лекционных аудиторий ГУАП
2	Аудитория для проведения лабораторных работ - оснащено лабораторным оборудованием, специализированной мебелью, техническими средствами обучения (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП по локальной вычислительной сети). Специализированная мебель; комплект типовых плакатов по технической механике (10 шт.); ПЭВМ – 1 шт.; установка для определения главных напряжений; установка для определения модуля сдвига при кручении; машина для испытаний на усталость МУИ-6000; установка для определения момента трения в подшипниках качения (ДМ-28М); разрывная машина (ИМ-4Р); маятниковый копер (КМ-05); демонстрационное оборудование	11-05 (ул. Гастелло, д.15)
	Аудитория для проведения лабораторных работ - оснащено лабораторным оборудованием, специализированной мебелью, техническими средствами обучения (в том числе, возможность	12-06 (ул. Гастелло, д.15)

	доступа в ЭИОС ГУАП по локальной вычислительной сети). Специализированная мебель; ПЭВМ – 3 шт.; МФУ – 1 шт.; комплекс автоматизированный лабораторный «Детали машин – передачи редукторные», комплекс автоматизированный лабораторный «Детали машин – передачи ременные» (модульный); стенд учебный «Планетарный редуктор с электроприводом»; лабораторная установка ТММ-33	
3	Помещение для самостоятельной работы - оснащено специализированной (учебной) мебелью; компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; лабораторное оборудование (ПЭВМ - 14 шт., объединенных в локальную вычислительную сеть с выходом в вычислительную сеть ГУАП и Интернет)	24-12 (ул. Гастелло, д.15)
4	Аудитория для проведения занятий семинарского типа (в том числе практических занятий), для текущего контроля и промежуточной аттестации, для проведения групповых индивидуальных консультаций, помещение для воспитательной работы – оснащена специализированной (учебной) мебелью; техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП через точку доступа WiFi или по локальной вычислительной сети).	14-15 (ул. Гастелло 15)

#### 10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Экзаменационные билеты*; Тесты.
Зачет	Список вопросов; Тесты.

Примечание: \*экзаменационные билеты формируются на основе вопросов и задач таблицы 15.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	Обучающийся: – глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно связывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 90% до 100% тестовых заданий**.
«хорошо» «зачтено»	Обучающийся: – твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 70% до 89% тестовых заданий**.
«удовлетворительно» «зачтено»	– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 51% до 69% тестовых заданий**.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	– обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений. – правильно выполнил менее 51% тестовых заданий**.

### 10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1	Какие ограничения (прочностные, геометрические, по массе, по жёсткости) необходимо учитывать при выборе материала и формы поперечного сечения вала? Назовите не менее трёх видов ограничений.	УК-1.3.1
2	При расчёте болтового соединения на срез и смятие какие ресурсы (характеристики материала, геометрические параметры) и какие ограничения (допускаемые напряжения, число болтов) выступают в качестве исходных данных?	
3	Для обеспечения устойчивости сжатого стержня (продольный изгиб) перечислите ресурсы (модуль упругости, момент инерции,	

	длина) и ограничения (коэффициент запаса, гибкость).	
4	При расчёте подшипника качения на долговечность какие ресурсы (динамическая грузоподъёмность, эквивалентная нагрузка, частота вращения) и ограничения (требуемый ресурс в часах, надёжность) следует задать?	
5	Какие ограничения накладывает критерий контактной прочности при проектировании зубчатой передачи (по материалу, твёрдости, межосевому расстоянию, модулю)?	
6	Дана балка с пролётом 4 м, нагруженная сосредоточенной силой. Условия: материал – сталь Ст3, ограничение по высоте сечения – не более 200 мм, доступен сортамент двутавров и прямоугольных труб. Выберите оптимальный профиль, обеспечивающий прочность с минимальной массой. Обоснуйте выбор.	УК-1.В.1
7	Для привода ленточного конвейера (мощность 7,5 кВт, частота двигателя 1450 об/мин, частота вала конвейера 500 об/мин) выберите тип передачи: ременная или цепная. Учитывайте ресурс, стоимость, условия пыльного помещения, ограничения по межосевому расстоянию ( $l=800\div 1200$ мм). Обоснуйте выбор.	
8	Для вертикального вала с осевой нагрузкой 12 кН и радиальной 4 кН при частоте 500 об/мин выберите тип опор: два радиально-упорных шарикоподшипника или один сдвоенный конический роликоподшипник. Учитывайте ограничения по осевому зазору, ресурс 20000 ч, стоимость. Приведите расчёт.	
9	Необходимо соединить две стальные полосы 50×8 мм внахлестку. Нагрузка растягивающая 30 кН. Есть возможность использовать болты М12 (класс 5.6) или две заклёпки диаметром 10 мм (материал Ст3). Выберите оптимальное соединение по критерию «надёжность / трудоёмкость изготовления». Обоснуйте.	
10	Для подъёма груза 200 кг с постоянной скоростью 0,5 м/с предложите два варианта привода: электродвигатель-редуктор и лебёдка с ручным приводом. Условия: ограниченный бюджет, требуется автономность, периодическая работа. Выберите оптимальный способ с учётом ресурсов (электричество / мускульная сила) и ограничений (безопасность, масса).	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.  
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
1	Используя системный подход, объясните разницу между понятиями «прочность», «жесткость» и «устойчивость» применительно к элементам конструкции космического аппарата. Приведите по одному примеру, когда каждый из этих критериев является определяющим.	УК-1.3.1
2	Сформулируйте первый, второй и третий законы Ньютона. Запишите второй закон Ньютона в дифференциальной форме $F = dp/dt$ и в виде $F = m \cdot a$ (для постоянной массы). Поясните, в каких случаях применяется каждая форма записи.	
3	Дайте определение моменту инерции твердого тела относительно оси. Сформулируйте теорему Штейнера (о параллельном переносе оси). Запишите формулу и поясните физический смысл каждого члена.	

4	Сформулируйте закон Гука при растяжении ( $\sigma = E \cdot \epsilon$ ) и закон Гука при сдвиге ( $\tau = G \cdot \gamma$ ). Дайте определение модуля упругости $E$ и модуля сдвига $G$ . Запишите формулу связи между ними через коэффициент Пуассона $\nu$ .	
5	Дайте определение понятиям «прочность», «жесткость» и «устойчивость» применительно к элементам конструкций. Приведите примеры, когда каждый из этих критериев является определяющим для космической техники.	
6	Стальной стержень круглого сечения растягивается силой 25 кН. Предел текучести материала $\sigma_{\text{т}} = 300$ МПа, требуемый коэффициент запаса прочности $n = 1,8$ . Выполните проверочный расчет, если диаметр стержня $d = 12$ мм. При невыполнении условия прочности предложите новое значение диаметра из стандартного ряда (предпочтительные числа: 12, 14, 16, 18, 20 мм). Обоснуйте выбор.	УК-1.В.1
7	При испытаниях на растяжение образца из алюминиевого сплава получены следующие данные: предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = 180$ МПа, предел текучести $\sigma_{\text{т}} = 220$ МПа, предел прочности $\sigma_{\text{в}} = 280$ МПа. Рабочее напряжение в конструкции составляет 150 МПа. Коэффициент запаса прочности выбран $n = 1,5$ . Выполните критический анализ: по какому пределу ( $\sigma_{\text{пц}}$ , $\sigma_{\text{т}}$ или $\sigma_{\text{в}}$ ) следует оценивать прочность, и обеспечена ли она? Ответ обоснуйте.	
8	При вибрационных испытаниях платы с аппаратурой выявлено, что собственная частота колебаний совпадает с частотой возбуждения (резонанс), что приводит к недопустимо большим амплитудам. Предложите стратегию действий: перечислите не менее трех способов изменения собственной частоты системы (варьируя массу и жесткость). Для каждого способа укажите, увеличивается или уменьшается частота.	
9	Определите скорость точки обода катящегося без скольжения колеса, находящейся на высоте радиуса от поверхности. Радиус колеса $R = 0,3$ м, скорость центра $v_{\text{ц}} = 1,5$ м/с. Решите задачу двумя способами: 1) через мгновенный центр скоростей (МЦС); 2) как сумму поступательного и вращательного движений. Сравните трудоемкость методов и сделайте вывод об оптимальности каждого для данной задачи.	
10	Рассчитана балка прямоугольного сечения ( $b \times h = 30 \times 60$ мм) на изгиб. Получено максимальное нормальное напряжение $\sigma = 210$ МПа. Допускаемое напряжение для материала $[\sigma] = 160$ МПа. Студент предлагает увеличить ширину сечения $b$ в два раза (с 30 до 60 мм). Критически оцените это предложение: во сколько раз изменится напряжение? Какой параметр сечения ( $b$ или $h$ ) эффективнее увеличивать для снижения напряжений? Предложите рациональное решение.	

Перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для выполнения курсового проекта / курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено



Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1	<p>Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.</p> <p>При расчёте на прочность сварного соединения встык, работающего на растяжение, к ограничениям относится:</p> <p>а) Предел текучести материала свариваемых деталей.  б) Число сварных швов в соединении.  в) Допускаемое напряжение для сварного шва <math>[\sigma']</math>.  г) Модуль упругости материала.</p> <p>Правильный ответ – в. Допускаемое напряжение – это ограничение, которое нельзя превышать (условие прочности <math>\sigma \leq [\sigma']</math>). Предел текучести (а) – характеристика материала (ресурс), число швов (б) – конструктивный параметр (выбор проектировщика), модуль упругости (г) – свойство материала (ресурс).</p>	УК-1.3.1
2	<p>Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов.</p> <p>Какие из перечисленных параметров относятся к ограничениям при выборе сечения балки из условия прочности на изгиб?</p> <p>а) Допускаемое нормальное напряжение материала <math>[\sigma]</math>.  б) Ширина полки стандартного двутавра (сортамент).  с) Модуль упругости стали Е.  д) Максимальный изгибающий момент в опасном сечении.  е) Ограничение по высоте балки, заданное компоновкой узла.</p> <p>Правильные ответы – а, б, е. Ограничения – это заранее заданные величины, которые нельзя превышать или которые фиксируют выбор (допускаемое напряжение <math>[\sigma]</math> – ограничение по прочности; сортамент – ограничение по типоразмерам; компоновочная высота – геометрическое ограничение). Параметр с (модуль упругости) – характеристика материала (ресурс), d (изгибающий момент) – результат расчёта нагрузки, а не ограничение.</p>	
3	<p>Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию правого.</p> <p>Термин (для балки при изгибе) Относится к ...</p> <p>1. Момент сопротивления сечения W А. Ресурс (характеристика сечения)  2. Допускаемое нормальное напряжение <math>[\sigma]</math> Б. Ограничение (нельзя превышать)  3. Максимальный изгибающий момент <math>M_{\max}</math> В. Результат расчёта (внутреннее усилие)</p> <p>Правильный ответ: 1 – А, 2 – Б, 3 – В.</p>	
4	<p>Прочитайте текст и установите верную последовательность. Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо.</p> <p>Рациональный порядок определения ограничений при выборе подшипника качения:</p> <p>Определить требуемую долговечность (ресурс) в часах.</p>	

	<p>Вычислить эквивалентную динамическую нагрузку. По формуле <math>L_{10} = (C/P)^p</math> найти требуемую динамическую грузоподъёмность <math>C</math>. Выбрать подшипник из каталога с <math>C \geq</math> требуемой, учитывая ограничения по посадочному диаметру. Ответ: 1, 2, 3, 4.</p>	
5	<p>Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Необходимо рассчитать зубчатую цилиндрическую передачу для привода ленточного конвейера мощностью 5 кВт, частотой вращения ведущего вала 1500 об/мин, передаточным числом 3. Ресурс работы – 10000 часов. Перечислите не менее трёх ограничений и не менее двух ресурсов (исходных данных), которые вы должны знать перед началом проектного расчёта. Ответ: Ограничения: Минимально допустимый коэффициент запаса прочности (например, <math>[n]=1,5</math>). Максимальные габариты передачи (межосевое расстояние) по условиям компоновки. Допускаемые контактные напряжения материала шестерни и колеса (зависят от выбранной стали и термообработки). Ресурсы: Мощность и частота вращения (заданы - 5 кВт, 1500 об/мин). Передаточное число (<math>U=3</math>). (Дополнительно) ресурс работы (10000 ч) – позволяет учесть усталостную прочность.</p>	
6	<p>Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа. Для передачи вращения между двумя валами соосно с большим межосевым расстоянием (5 м) и отсутствием жёстких требований к синхронизации, но при ограниченном бюджете и в запылённой атмосфере, какой тип передачи вы выберете как оптимальный? а) Зубчатую цилиндрическую. б) Ремённую клиновую. в) Цепную. г) Карданную. Правильный ответ - б) ремённую клиновую. Зубчатая передача требует соосности и дорога (а также чувствительна к пыли). Цепная также требует смазки и дороже. Карданная не подходит для большого межосевого расстояния. Ремённая передача допускает большие межосевые расстояния, дешева, не требует смазки, работает в пыльной среде, допускает несоосность.</p>	УК-1.В.1
7	<p>Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов. При выборе типа подшипника для вала насоса (частота 3000 об/мин, радиальная нагрузка 2 кН, осевая нагрузка мала, рабочая температура до 80°C, требуется минимальное трение и низкая стоимость) какие два типа подшипников являются оптимальными альтернативами? а) Шариковый радиальный однорядный. б) Роликовый конический. с) Шариковый упорный.</p>	

	<p>d) Шариковый радиально-упорный. е) Игольчатый.</p> <p>Правильные ответы – а, d. Шариковый радиальный (а) – дешёвый, малый момент трения, работает при малой осевой нагрузке. Радиально-упорный (d) – тоже приемлем, но дороже. Конический (b) – для больших осевых; упорный (с) – только для осевой; игольчатый (е) – для больших нагрузок при малых габаритах, но трение выше.</p>	
8	<p>Прочитайте текст и установите верную последовательность. Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. При выборе оптимального типа ремня (плоский, клиновой, поликлиновой) для привода с заданной мощностью, частотой и межосевым расстоянием, порядок действий для выбора:</li> <li>2. Определить расчётную мощность с учётом коэффициента режима.</li> <li>3. По номограмме выбрать сечение клинового ремня (или тип).</li> <li>4. Оценить необходимое количество ремней (для клиновых).</li> <li>5. Сравнить клиновой и плоский варианты по долговечности и КПД.</li> <li>6. Принять решение на основе стоимости и доступности.</li> </ol> <p>Ответ: 1, 2, 3, 4, 5.</p>	
9	<p>Прочитайте текст и установите соответствие. Для каждой расчётной задачи (условия) подберите оптимальный метод расчёта.</p> <p>Задача Метод</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Требуется быстро (без ЭВМ) подобрать сечение балки из сортамента А. Энергетический метод (теории прочности)</li> <li>2. Определение запаса прочности в опасной точке при сложном напряжённом состоянии Б. Метод допускаемых напряжений (<math>\sigma \leq [\sigma]</math>)</li> <li>3. Расчёт фермы с большим числом стержней В. Программный комплекс</li> </ol> <p>Ответ: 1 – Б, 2 – А, 3 – В.</p>	
10	<p>Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ.</p> <p>Условия: для вертикального вала редуктора с большим межосевым расстоянием, высокой частотой вращения и возможностью перекоса опор. Выберите оптимальный тип муфты (из жёстких, компенсирующих, упругих) и обоснуйте свой выбор.</p> <p>Ответ:</p> <p>Оптимальным является компенсирующая муфта (например, зубчатая или цепная), так как она допускает радиальные, угловые и осевые смещения валов. Жёсткая муфта не подходит из-за перекоса, упругая может иметь недостаточную жёсткость при больших моментах. Конкретно – зубчатая муфта выдерживает высокие нагрузки и частоты.</p>	

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### 11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- изложена в разделе 4.

### 11.2. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;

- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

#### Задание и требования к проведению лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Механика» проводятся в лабораториях кафедры № 1 (ауд. 11-05, 12-06). Для проведения лабораторных работ используются лабораторные установки, позволяющие выполнять экспериментальные исследования по всем основным разделам дисциплины «Механика».

Цель лабораторных работ – исследование кинематических и силовых параметров механизмов, механических характеристик материалов, изучение стандартов и нормативов, регламентирующих механические испытания элементов конструкций, кинематическую точность, а также получение навыков обработки экспериментальных данных с использованием современных информационных технологий.

Порядок проведения лабораторной работы:

##### 1. Вводная часть

- получение обучающимся допуска к работе (устный опрос)
- получение обучающимся задания
- сообщение преподавателем указаний к работе (описание лабораторной установки, напоминание о порядке выполнения работы и исследуемых параметрах, показ способов выполнения отдельных операций, предупреждение о возможных ошибках)

##### 2. Основная часть

- выполнение обучающимся поставленной в ходе эксперимента задачи
- сообщение преподавателем (в случае необходимости) дополнительных указаний (повторный показ или разъяснение исполнительских действий)

##### 3. Заключительная часть

В заключительной части студент должен продемонстрировать полученные результаты преподавателю.

Структура и форма отчета о лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе должен содержать следующие разделы:

- цель лабораторной работы
- формулировка задания
- основная часть (должна содержать описание лабораторной установки, необходимые таблицы, графики, экспериментальные данные и результаты расчетов)
- вывод (описываются итоги работы, проводится анализ полученных результатов).

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе изложены в действующем стандарте ГОСТ 7.32-2001 (с учетом изменений 2019 г.) «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления», который можно найти в Интернете на сайте ГУАП [http://guap.ru/guap/standart/titl\\_main.shtml](http://guap.ru/guap/standart/titl_main.shtml).

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения

и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

В ходе выполнения самостоятельной работы обучающийся изучает теоретический материал дисциплины, выполняет отчеты по лабораторным работам, размещенные в ИСО ГУАП: <http://pro.guap.ru/> , <https://lms.guap.ru/>

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

*Обязательно для заполнения преподавателем: указываются требования и методы проведения текущего контроля успеваемости, а также как результаты текущего контроля успеваемости будут учитываться при проведении промежуточной аттестации.*

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой