

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 19 » января 20 22 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок  
\_\_\_\_\_ (наименование)

**Форма обучения:** очная  
\_\_\_\_\_ (очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** специалитет  
\_\_\_\_\_ (бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
\_\_\_\_\_ (часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
\_\_\_\_\_ (код и наименование направления)

**Направленность:** Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок (СУОС)  
\_\_\_\_\_ (наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является:

– подготовка студента к решению задач связанных с расчетным и экспериментальным исследованием и оценкой прочности деталей авиационных двигателей и энергетических установок.

Задачи учебной дисциплины:

• формирование знаний:

– теоретические основы рабочих процессов в АД и ЭУ и то, к каким нагружающим силовым факторам, возникающим в узлах и элементов последних они приводят;

– типовые требования и методы газодинамических, тепловых и прочностных расчётов элементов и узлов АД и ЭУ.

• формирование умений:

– грамотно задавать граничные условия, выбирать модели материала, модели нагружения для элементов АД и ЭУ в специальных САЕ САПР системах;

– выполнять расчеты методом конечных элементов отдельных элементов АД и ЭУ;

– интерпретировать результаты расчета в соответствии с действующими нормами ЕСКД, государственными и отраслевыми стандартами.

• формирование навыков:

– использования, основанных на теории упругости и пластичности, методик моделирования и расчетов на прочность элементов АД и ЭУ в САЕ САПР системах;

– работы с вычислительной техникой при расчете элементов АД и ЭУ и оформлении научно-технической документации.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты:

– основные уравнения теории упругости, пластичности, ползучести, колебаний;

– процессы нагружения, процессы разрушения;

– методы расчетного и экспериментального анализа статической и динамической прочности типовых элементов и узлов АД и ЭУ;

– методы расчета надежности и долговечности типовых элементов и узлов АД и ЭУ;

– модели материала, модели нагружения, модели формы, модели разрушения;

– способы решения задач статической и динамической прочности типовых элементов и узлов АД и ЭУ;

– факторы, влияющих на конструкционную прочность типовых элементов и узлов АД и ЭУ.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	знает теоретические основы рабочих процессов в АД и ЭУ и то, к каким нагружающим силовым факторам, возникающим в узлах и элементов последних они приводят;	Знает теоретические основы рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Тест
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	умеет грамотно задавать граничные условия, выбирать модели материала, модели нагружения для элементов АД и ЭУ в специальных САЕ САПР системах	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и их агрегатах.	Защита лабораторной работы
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	владеет навыками использования, основанных на теории упругости и пластичности, методик моделирования и расчетов на прочность элементов АД и ЭУ в САЕ САПР системах	Владеет навыками постановки и решения расчётно-теоретических и экспериментальных исследовательских задач; анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании авиационных двигателей и энергетических установок.	Защита лабораторной работы
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	знает типовые требования и методы газодинамических, тепловых и прочностных расчётов элементов и узлов АД и ЭУ	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Тест
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	– умеет выполнять расчеты методом конечных элементов отдельных элементов АД и ЭУ; – умеет интерпретировать результаты расчета в соответствии с действующими номами ЕСКД, государственными и отраслевыми стандартами	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеет навыками работы с вычислительной техникой при расчете элементов АД и ЭУ и оформлении научно-технической документации	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	28	28	
- лабораторные работы (ЛР)	24	24	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
7-й семестр				
Теория упругости	7	18	0	19
<p>Введение.            Структура и задачи курса. Реальные конструкции, их расчетные схемы и модели, конструкционная прочность. Факторы влияющие на конструкционную прочность. Модели материала. Модели формы. Модели нагружения, запасы прочности.</p> <p>Тема 1. Напряжения в точке тела            Напряженно-деформированное состояние в точке. Тензор напряжений. Исследование напряженного состояния в точке при заданном тензоре напряжений. Главные площадки.</p> <p>Тема 2. Деформации в точке тела            Деформированное состояние в точке. Геометрические уравнения механики линейной сплошной деформируемой среды. Определение нагрузок в элементах силовых конструкций.</p> <p>Тема 3. Уравнения теории упругости            Постановка задачи теории упругости. Граничные условия. Расчет напряженно-деформированного состояния.</p>				
Теория пластичности	5	0	0	6
<p>Тема 4. Основы теории пластичности            Упругие и пластические деформации. Модель малых упруго-пластических деформаций. Остаточные напряжения. Постановка и методы решения задач теории пластичности.</p>				
Усталостное разрушение	4	0	0	9
<p>Тема 5. Основы процессов усталостного разрушения            Классификация. Расчеты на усталость. Малоцикловая усталость и термоусталость. Долговечность и ресурс.</p> <p>Тема 6. Основы механики разрушения            Развитие трещины, как последний этап разрушения. Напряженное состояние в вершине трещины. Коэффициент интенсивности напряжений. Критические значения коэффициента интенсивности напряжений. Уравнение Париса. Кинетика усталостной трещины, долговечность.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Ползучесть	2	0	0	4
Тема 7. Основы теории ползучести Ползучесть. Определяющие одномерные уравнения. Теория ползучести. Релаксация напряжений.				
Численные методы расчета напряженно-деформированного состояния элементов АД и ЭУ	3	6	0	7
Тема 9 Экспериментальные методы анализа статической и динамической прочности элементов АД и ЭУ. Экспериментальные методы анализа статической и динамической прочности. Методы испытаний. Планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций АД и ЭУ. Математические методы моделирования статической и динамической прочности. Методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов авиационных двигателей и энергетических установок.				
Экспериментальные методы	3	0	0	5
Тема 9 Экспериментальные методы анализа статической и динамической прочности элементов АД и ЭУ. Экспериментальные методы анализа статической и динамической прочности. Методы испытаний. Планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций АД и ЭУ. Математические методы моделирования статической и динамической прочности. Методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов авиационных двигателей и энергетических установок.				
Основы теории колебаний	4	0	0	4
Тема 10 Колебания систем с конечным числом степеней свободы Системы с конечным числом степеней свободы. Составление и интегрирование дифференциальных уравнений свободных колебаний системы с конечным числом степеней свободы. Формы собственных колебаний и их свойства. Заключение.				
ИТОГО по 7-му семестру	28	24	0	54
ИТОГО по дисциплине	28	24	0	54

## Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Изучение интерфейса пользователя и основ работы в конечноэлементном пакете ANSYS
2	Расчет методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния стержня при заданных условиях нагружения
3	Расчет методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния пластины с концентратором напряжений в виде отверстия
4	Расчет методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния стержня при заданном распределении температуры и нагрузок

### 5. Организационно-педагогические условия

#### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

#### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

### 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

#### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : учебное пособие. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург[и др.] : Лань, 2013. 311 с. 16,80 усл. печ. л.	2
2	Кожаринова Л. В. Основы теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 136 с. 8,5 усл. печ. л.	9
3	Механика сплошной среды. Основы механики твёрдых сред. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 623 с. 50,7 усл. печ. л.	10
4	Механика упругопластического разрушения. Основы механики разрушения. Москва : УРСС, 2007. 349 с.	5
5	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок. М. : Машиностроение, 2008. 191 с.	38
6	Прикладная теория пластичности : учебное пособие для вузов / Иванов К. М., Нестеров Н. И., Усманов Д. В., Иванов В. Н., Бунина Н. А. Санкт-Петербург : Политехника, 2009. 375 с.	3
7	Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Механика разрушения деформируемого тела. 2-е изд., испр. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 419 с.	7
8	Степанова Л. В. Математические методы механики разрушения. Москва : Физматлит, 2009. 334 с.	1
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бабаков И. М. Теория колебаний : учебное пособие для вузов. 4-е изд., испр. Москва : Дрофа, 2004. 592 с.	111
2	Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Тарлаковский Д.В. Теория упругости и пластичности : учебник для вузов. М. : Физматлит, 2002. 415 с.	54
3	Горяченко В. Д. Элементы теории колебаний : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Высш. шк, 2001. 395 с., 1 л. портр.	40
4	Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Изд-во МЭИ, 2000. 479 с.	7
5	Пестриков В. М., Морозов Е. М. Механика разрушения твердых тел : курс лекций. СПб : Профессия, 2002. 300 с.	50
6	Розин Л. А. Постановки задач теории упругости : учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТУ, 1992. 101 с.	1
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		

	Не используется	
--	-----------------	--

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	ПНИПУ. Аэрокосмическая техника	<a href="http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/</a>	сеть Интернет; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

## 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Персональные компьютеры	20
Лекция	Проектор с экраном	1

## 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
------------------------------



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

**УТВЕРЖДЕНО**

на заседании кафедры АД  
протокол № \_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.  
Заведующий кафедрой  
«Авиационные двигатели»  
\_\_\_\_\_ А. А. Иноземцев

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Динамика и прочность авиационных двигателей**  
**и энергетических установок»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**  
**Приложение к рабочей программе дисциплины**

<b>Специальность подготовки:</b>	24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
<b>Специализация программы специалитета:</b>	«Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок»
<b>Квалификация выпускника:</b>	инженер
<b>Выпускающая кафедра:</b>	«Авиационные двигатели»
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 4

**Семестр:** 7

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч

**Виды промежуточного контроля:**

Экзамен: - 7 Диф.зачёт: - нет Зачёт: - нет Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

**Пермь, 2021 г.**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины **«Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок»** и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;
- рабочей программы дисциплины **«Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок»**, утвержденной «    »                    2017 г.

# 1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения

## 1.1. Формируемые части компетенций

Согласно КМВ ООП учебная дисциплина Б1.В.05 «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок» участвует в формировании 2-х компетенций: ПК-1.2, ПК-2.1. В рамках учебного плана образовательной программы в 7-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. ПК-1.2. Б1.В.05. – способность применять знание теоретических основ рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках в процессе разработки физических и математических моделей процессов, явлений нагружения и разрушения деталей в авиационных двигателях;

2. ПК-2.1. Б1.В.05. – способность выполнять газодинамические, тепловые и прочностные расчёты состояния деталей и узлов авиационных двигателей и осуществлять документированное описание результатов расчетов.

## 1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра базового учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, промежуточного и итогового контроля при изучении теоретического материала, защитой отчетов по лабораторным работам и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1- Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий и промежуточный		Рубежный		Промежуточная аттестация	
	ТО		Т/КР	ОЛР		Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
3.1. знать теоретические основы рабочих процессов в АД и ЭУ и то, к каким нагружающим силовым факторам, возникающим в узлах и элементах последних они приводят;	ТО 1		КР 1	ОЛР2		ТВ
3.2. знать типовые требования и методы газодинамических, тепловых и прочностных расчётов элементов и узлов АД и ЭУ	ТО 1		КР 1	ОЛР3, ОЛР4		ТВ

Освоенные умения						
У.1 уметь грамотно задавать граничные условия, выбирать модели материала, модели нагружения для элементов АД и ЭУ в специальных САЕ САПР системах				ОЛР2, ОЛР3, ОЛР4		
У.2 уметь выполнять расчеты методом конечных элементов отдельных элементов АД и ЭУ;			КР1			ТВ
У.3 уметь интерпретировать результаты расчета в соответствии с действующими нормами ЕСКД, государственными и отраслевыми стандартами				ОЛР2, ОЛР3, ОЛР4		
Приобретенные владения						
В.1 владеть навыками использования, основанных на теории упругости и пластичности, методик моделирования и расчетов на прочность элементов АД и ЭУ в САЕ САПР системах	ТО 1		КР1	ОЛР2, ОЛР3, ОЛР4		ТВ
В.2 владеть навыками работы с вычислительной техникой при расчете элементов АД и ЭУ и оформлении научно-технической документации	ТО 3		КР2	ОЛР2, ОЛР3, ОЛР4		ТВ

*ТО – текущий опрос; КР – промежуточная контрольная работа; ОЛР – отчет по лабораторной работе; ТВ – теоретические вопросы (процедура итоговой аттестации с проведением аттестационного испытания).*

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

### **2.1. Текущий контроль**

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Всего предусмотрено проведение пяти текущих опросов (собеседований). Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты лабораторных работ, рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### 2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 4 лабораторные работы с составлением отчетов по трем из них. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены ниже.

Балл за		Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения дисциплинарных компетенций после изучения учебного материала
знания	умения		
5	5	Максимальный уровень	<i>Задание по работе выполнено в полном объеме. Студент точно ответил на контрольные вопросы, свободно ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.</i>
4	4	Средний уровень	<i>Задание по работе выполнено в полном объеме. Студент ответил на теоретические вопросы, испытывая небольшие затруднения. Качество оформления отчета к работе не полностью соответствует требованиям</i>
3	3	Минимальный уровень	<i>Студент правильно выполнил задание к работе. Составил отчет в установленной форме, представил решения большинства заданий, предусмотренных в работе. Студент не может полностью объяснить полученные результаты.</i>
2	2	Минимальный уровень не достигнут	<i>Студент не выполнил все задания работы и не может объяснить полученные результаты.</i>

Результаты защиты лабораторных работ по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### 2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 промежуточные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основы механики сплошных сред», вторая КР – по модулю 2 «Расчетно-экспериментальные методы».

#### Типовые вопросы к первой КР:

1. Основные допущения теории упругости.
2. Дифференциальное уравнение равновесия.
3. Тензор напряжений и деформаций, его инварианты.
4. Уравнения Коши. Закон Гука в трехмерной постановке.
5. Модели материала. Методы решения задачи теории упругости.
6. Основные допущений теории пластичности.
7. Основные уравнения теории пластичности.

8. Методы решения задачи теории пластичности.
9. Описание процессов усталостного разрушения элементов АД и ЭУ. Уравнение Менсона.
10. Влияние факторов на усталостную прочность. Накопление усталостных повреждений.

**Типовые вопросы к второй КР:**

1. Ползучесть в элементах АД и ЭУ. Основные уравнения ползучести.
2. Зарождение и развитие трещин. Уравнение Периса, его применение.
3. Этапы решения задачи методом конечных элементов.
4. Понятие матрицы жесткости элемента. Разрешающая система уравнений.
5. Экспериментальные методы анализа статической прочности элементов роторов АД и ЭУ.
6. Экспериментальные методы анализа статической прочности статорных элементов АД и ЭУ.
7. Экспериментальные методы анализа усталостной прочности элементов роторов АД и ЭУ.
8. Стратегии управления ресурсом АД и ЭУ.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены ниже.

Балл за		Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения дисциплинарных компетенций после изучения учебного модуля
знания	умения		
5	5	Максимальный уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Отчет по контрольной работе оформлен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.</i>
4	4	Средний уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, показал хорошие знания и умения, но не смог обосновать оптимальность предложенного решения, есть недостатки в оформлении отчета по контрольной работе.</i>
3	3	Минимальный уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, но допустил существенные неточности, не проявил умения правильно интерпретировать полученные результаты, отчет по контрольной работе имеет недостаточный уровень качества оформления.</i>
2	2	Минимальный уровень не достигнут	<i>Студент не полностью выполнил задание контрольной работы, при этом проявил недостаточный уровень знаний и умений, а также не способен пояснить полученный результат.</i>

Результаты защиты лабораторных работ по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 2.3. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная защита всех лабораторных работ, и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине письменно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, умений и владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы контролирующие уровень сформированности всех заявленных дисциплинарных компетенций. Пример типовой формы билета для дифференцированного зачета (экзамена) представлен в приложении 1.

В результате проведения экзамена на основании критериев и показателей оценивания, приведенных ниже, студенту выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно», которая заносится в зачетную ведомость и зачетную книжку студента (только если положительная).

### 2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

#### Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Напряженно-деформированное состояние в точке. Тензор напряжений.
2. Исследование напряженного состояния в точке при заданном тензоре напряжений. Главные площадки.
3. Деформированное состояние в точке. Геометрические уравнения механики линейной сплошной деформируемой среды.
4. Определение нагрузок в элементах силовых конструкций.
5. Постановка задачи теории упругости. Граничные условия.
6. Расчет напряженно-деформированного состояния тела.
7. Упругие и пластические деформации. Абсолютные и относительные кривые деформирования.
8. Модель малых упруго-пластических деформаций. Уравнения Ильюшина.
9. Остаточные напряжения. Постановка задачи теории пластичности.
10. Решение задач теории пластичности. Метод переменных параметров.
11. Классификация процессов усталостного разрушения элементов АД и ЭУ. Расчеты на усталость, уравнения.
12. Влияние факторов на усталостную прочность. Влияние постоянных напряжений на усталостную прочность.
13. Малоцикловая усталость и термоусталость элементов АД и ЭУ. Уравнение Менсона.
14. Зарождение и развитие трещины, как последний этап разрушения деталей АД и ЭУ. Напряженное состояние в вершине трещины.
15. Коэффициент интенсивности напряжений. Критические значения коэффициента интенсивности напряжений.
16. Уравнение Париса. Кинетика усталостной трещины, расчет долговечность.
17. Ползучесть в элементах АД и ЭУ. Определяющие одномерные уравнения.

18. Теория ползучести. Релаксация напряжений.
19. Основы метода конечных элементов. Дискретизация области.
20. Стержневые и балочные конечные элементы. Матрицы перемещений, жесткостей.
21. Матрица жесткости системы. Функции формы элемента.
22. Разрешающая система уравнений в методе конечных элементов.
23. Экспериментальные методы анализа статистической прочности деталей роторов АД и ЭУ.
24. Экспериментальные методы анализа динамической прочности корпусных и неподвижных деталей АД и ЭУ.
25. Методы испытаний АД и ЭУ на прочность и ресурс.
26. Стратегии обоснования ресурса деталей АД и ЭУ.
27. Планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций АД и ЭУ.
28. Математические методы моделирования статистической и динамической прочности.
29. Методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов авиационных двигателей и энергетических установок.
30. Системы с конечным числом степеней свободы. Составление и интегрирование дифференциальных уравнений свободных колебаний системы с конечным числом степеней свободы.
31. Формы собственных колебаний и их свойства. Применение результатов расчета собственных частот элементов АД и ЭУ.

#### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Провести качественную оценку запаса прочности при замене марки материала.
2. Сделать качественный и количественный анализ снижения прочности детали при изменении геометрических параметров концентратора напряжений.
3. Провести качественную оценку изменения прочности детали при появлении циклического температурного нагрева.
4. Качественно оценить изменение прочности при возникновении остаточных напряжений различного знака.
5. Составить план эксперимента по определению основных характеристик прочности материала.

Полный перечень теоретических вопросов в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

#### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена. Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при

сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в таблицах 2.1, 2.2.

Таблица 2.1. Шкала оценивания уровня знаний

Балл	Уровень усвоения	Критерии оценивания уровня усвоенных знаний
5	Максимальный уровень	<i>Студент правильно ответил на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент ответил на теоретический вопрос билета с небольшими неточностями. Показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент ответил на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>При ответе на теоретический вопрос билета студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i>

Таблица 2.2. Шкала оценивания уровня умений

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоенных умений
5	Максимальный уровень	<i>Студент правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения в рамках освоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i>

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоенных умений
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>При выполнении практического задания билета студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i>

### 3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций

#### 3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в таблице 2.1, 2.2.

#### 3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учётом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

#### Оценочный лист

Оценочный лист промежуточной аттестации в виде экзамена является инструментом для оценивания преподавателем уровня освоения компонентов контролируемых дисциплинарных компетенций путём агрегирования оценок, полученных студентом за ответы на вопросы билета, и результатов *текущей успеваемости* студента. Заполняя все позиции оценочного листа, преподаватель выставляет частные оценки по результатам текущей успеваемости студента, а также по ответам на вопросы и задания билета.

В оценочный лист включаются:

1. Интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля по 4-х балльной шкале оценивания.
2. Две оценки за ответы на вопросы и задания билета по 4-х балльной шкале оценивания.

3. Средняя оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций.
4. Итоговая оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций.

По первым 4-м оценкам вычисляется средняя оценка уровня сформированности заявленных дисциплинарных компетенций, на основании которой по сформулированным ниже критериям выставляется итоговая оценка промежуточной аттестации по дисциплине. Форма оценочного листа с примерами получения итоговой оценки уровня сформированности дисциплинарных компетенций приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Интегральный результат текущего и рубежного контроля (по результатам текущей успеваемости)	Оценка за экзамен для каждого результата обучения		Средняя оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций	Итоговая оценка за промежуточную аттестацию
	знания	умения		
5	5	4	4.75	<i>Отлично</i>
4	3	3	3.25	<i>Удовлетворительно</i>
3	5	4	3.75	<i>Хорошо</i>
3	3	3	2.75	<i>Неудовлетворительно</i>
3	3	4	3.0	<i>Неудовлетворительно</i>

**Критерии выведения итоговой оценки промежуточной аттестации:**

«Отлично» – средняя оценка  $> 4,5$ .

«Хорошо» – средняя оценка  $> 3,7$  и  $\leq 4,5$ .

«Удовлетворительно» – средняя оценка  $\geq 3,0$  и  $\leq 3,7$  при отсутствии хотя бы одной неудовлетворительной оценки за компоненты компетенций.

«Неудовлетворительно» – средняя оценка  $< 3,0$  или присутствует хотя бы одна неудовлетворительная оценка за компоненты компетенций.