

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 29 » августа 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Динамика и прочность турбомашин  
(наименование)

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

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

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

**Направление подготовки:** 13.03.03 Энергетическое машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Энергетическое машиностроение (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование комплекса знаний, умений и навыков, необходимых для решения прикладных проблем прочностных расчетов конструктивных элементов и узлов газоперекачивающих агрегатов с учетом динамических нагрузок, возникающих в процессе их функционирования на этапах их разработки и проектирования.

Задачей изучения дисциплины является приобретение профессиональных знаний, умений и навыков:

– изучение определенной совокупности теоретических знаний о роли и месте динамических нагрузок в формировании работ о способности и надежности газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов и их неоднозначности в воздействии на материал, конструктивные элементы и конструкцию;

– формирование умений проведения динамического анализа и расчета прочности, оценки надежности конструкции газотурбинных установок (ГТУ) и газоперекачивающих агрегатов (ГПА) для различных этапов его жизненного цикла;

– формирование навыков выбора методов и методик прочностных расчетов конструктивных элементов газоперекачивающих агрегатов с учетом динамических нагрузок и освоении навыков основных расчетных алгоритмов в процессе разработки и проектирования энергетических систем.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

– газотурбинные двигатели и газоперекачивающие агрегаты;

– процессы динамического нагружения и деформирования конструктивных элементов ГТУ и ГПА;

– методы анализа статической и динамической прочности – экспериментальные методы, методы математического моделирования;

– методы испытаний, планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций ГТУ.

### 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
ПК-1.4	ИД-1ПК-1.4	Знает методики расчета динамических нагрузок, возникающих в процессе функционирования ГТУ и ГПА; знает основы расчета динамического НДС конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА; методы оценки динамических свойств материалов и конструкций	Демонстрирует понимание влияния условий работы объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок на принимаемые конструктивные решения	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-2ПК-1.4	Умеет проводить динамический анализ работы агрегатов и турбомашин; выбирать конструктивные решения для снижения динамического НДС конструктивных элементов турбомашин; формировать технические решения с учетом динамических особенностей работы ГТУ и ГПА	Умеет проводить расчеты по определению основных параметров элементов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Защита лабораторной работы
ПК-1.4	ИД-3ПК-1.4	Владеет навыками принятия конкретных решений при анализе динамического НДС конструктивных элементов ГТУ и ГПА; навыками расчета динамических нагрузок; навыками выбора методик оценки динамического НДС конструкций и элементов ГТУ и ГПА	Владеет навыками принимать обоснованные технические решения при создании объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Зачет
ПК-2.3	ИД-1ПК-2.3	Знает экспериментальную базу динамических исследований в турбомашин; современные технологии динамического анализа работы ГТУ и ГПА; методики обработки экспериментальных исследований динамического поведения ГТУ и ГПА	Знает современные информационные технологии и современные пакеты прикладных программ для исследования процессов в газоперекачивающих агрегатах и энергетических установках	Контрольная работа
ПК-2.3	ИД-2ПК-2.3	Умеет формировать результаты динамических испытаний в технические предложения по совершенствованию работы ГТУ и ГПА; анализировать результаты динамических испытаний и представлять их в виде технических решений	Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов и режимов работы объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Отчёт по практическому занятию
ПК-2.3	ИД-3ПК-2.3	Владеет навыками	Владеет навыками	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		принятия конкретных технических решений при доработке конструкции ГТУ и ГПА; владеет навыками поиска технической информации применительно к конкретной задаче динамического анализа ГТУ и ГПА	использования современных компьютерных технологий при анализе и расчете объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	60	60	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	22	22	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	16	16	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	84	84	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
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	
8-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Динамический анализ ГТУ и ГПА	8	10	6	36
<p>Введение.</p> <p>Место дисциплины в системе подготовки специалиста. Цель преподавания и задачи изучения дисциплины. Состав дисциплины. Объем в часах лекционных, лабораторных и практических занятий. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература. Предмет и задачи курса.</p> <p>Тема 1. Динамические нагрузки, действующие на ГТУ и ГПА.</p> <p>Понятия динамики и динамической нагрузки. Классификация динамических нагрузок, действующих на ГТУ и ГПА на различных этапах их эксплуатации. Нагрузка при транспортировке. Эксплуатационные нагрузки. Тепловые нагрузки. Акустическая нагрузка. Колебания давления в камере ГТУ и колебания конструктивных элементов. Динамические нагрузки, действующие на корпус ГПА при подготовке воздуха в ВЗУ и системы выхлопа. Периодическая возмущающая сила и возмущающая сила произвольного вида. Основные задачи динамического анализа. Методы решения динамических задач. Технические решения на этапе динамического анализа. Динамические подходы к оценке динамической прочности (схема мгновенного разрушения и схема накопления повреждений). Роль динамического анализа в создании и отработке ГТУ и ГПА.</p> <p>Тема 2. Теории колебаний и механизмы возникновения колебаний в ГТУ и ГПА. Виды колебаний конструкции ГТУ и их опасность. Собственные колебания элементов и узлов ГТУ и ГПА. Вынужденные колебания. Автоколебания и механизм их возникновения. Параметрические колебания. Нелинейные колебания. Механизмы возникновения изгибных и продольных автоколебаний конструктивных элементов ГТУ и ГПА. Теоретические методы определения колебаний в ГТУ и ГПА. Собственные продольные колебания стержня переменной погонной массы и жесткости. Метод последовательных приближений при определении собственных частот и форм колебаний. Вынужденные продольные колебания корпуса ГТУ при его выключении и выключении. Максимальная продольная растягивающая нагрузка для стыковочных соединений.</p> <p>Тема 3. Инженерная методика динамического расчета ГТУ и ГПА.</p> <p>Учет динамических свойств материала. Отличия в</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
решении от балочной постановки задачи. Выделение реакции связей, сил инерции. Динамическое напряженно-деформированное состояние элемента. Связь динамического и статического модулей материала. Влияние температуры, скорости нагружения, частоты колебаний, времени на изменение механических свойств материала. Температурно-временная аналогия изменения физико-механических свойств материала. Основные уравнения динамического анализа напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ГТУ и ГПА. Алгоритм расчета ресурса работы элемента.				
Инженерные методы расчета	8	12	7	36
Тема 4. Расчет тонкостенных элементов ГТУ. Моментная и безмоментная теория оболочек. Коэффициент динамичности конструкции. Схема решения задачи и итерационная процедура учета подкрепления конструктивных элементов ГТУ. Оценка прочности. Прочностные расчеты стенок камеры сгорания ГТУ, баков, расчет вафельных конструкций, расчет силовых и переходных отсеков ГТУ. Оценка прочности конструктивных элементов. Тема 5. Динамическое поведение валов ГТУ и компрессора лопаточного типа с корпусом ГПА. Трехмерная постановка задачи о колебаниях валов и лопаток ГТУ и компрессора. Отличия в решении от балочной постановки задачи. Некоторые сведения из теории обобщенных функций. Расчет недеформируемого контура. Применение результатов расчета элементов на действие сосредоточенных нагрузок к расчетам элементов на другие виды нагрузок. Расчет элементов деформируемого контура в напряжениях на действие сосредоточенных нагрузок, лежащих в его плоскости. Расчет элементов в перемещениях на действие сосредоточенных нагрузок, лежащих в плоскости его упругой оси. Расчет элементов на действие аксиальных нагрузок. Расчет в перемещениях упругого из своей плоскости шпангоута на действие аксиальных нагрузок. Расчет дисков турбины, лопаток насоса на моноцикловую усталость, на усталость и устойчивость. Тема 6. Расчет камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных конструкций сложной геометрической формы и трубопроводов. Упрощенная методика оценки несущей способности конструктивных элементов камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
конструкций, ферм и трубопроводов. Оценка устойчивости конструктивных элементов от действия статической и динамической нагрузок. Уточненная методика оценки несущей способности конструктивных элементов камеры сгорания ГТУ, баков пространственных конструкций, ферм и трубопроводов. Методы исследования работоспособности конструктивных элементов				
Динамические испытания ГТУ и ГПА	2	0	3	12
Тема 7. Динамические испытания ГТУ. Постановка и задачи динамического анализа по определению НДС конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА. Параметры, определяемые при динамических испытаниях ГТУ и ГПА. Влияние динамических нагрузок на надежность ГТУ и ГПА. Заключение. Основные моменты в понимании основных подходов в изучении и освоении дисциплины «Динамика и прочность турбомашин», формирования компетенций специалиста.				
ИТОГО по 8-му семестру	18	22	16	84
ИТОГО по дисциплине	18	22	16	84

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Расчет динамических нагрузок компрессора ГТУ
2	Расчет динамических нагрузок при возникновении колебаний элементов конструкции объекта на примере вала компрессора ГТУ
3	Расчет динамического НДС дисков турбин и лопаток ГТУ
4	Расчет переходных отсеков ГТУ и ГПА
5	Освоение современных методик оценки динамического состояния ГТУ и ГПА

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение влияния изменения массы ротора компрессора ГТУ на продольные, изгибные и крутильные колебания
2	Исследование влияния массо-жесткостных характеристик на динамические нагрузки в ГПА

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы лабораторной работы</b>
3	Исследование динамически напряженных зон в турбомашине

## 5. Организационно-педагогические условия

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

<p>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.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>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.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

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

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.</li> <li>2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.</li> <li>3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.</li> <li>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.</li> </ol>
---

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

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

<b>№ п/п</b>	<b>Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)</b>	<b>Количество экземпляров в библиотеке</b>
<b>1. Основная литература</b>		



1	Динамика механизмов : учебное пособие / Головин А. А., Костиков Ю. В., Красовский А. Б., Никоноров В. А., Рябинин М. В. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 159 с.	11
2	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 4: Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок. Москва : Машиностроение, 2008. 191 с.	34
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Безухов Н. И., Лужин О. В., Колкунов Н. В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах : учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. Москва : Высш. шк., 1987. 264 с.	24
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. Пермь : ПНИПУ, 2012 -.	
<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	Головин А. А. Динамика механизмов : учеб. пособие / Головин А. А., Костиков Ю. В., Красовский А. Б. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2006.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106277">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106277</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Лежин Д. С. Лабораторный практикум «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок» : практикум / Лежин Д. С. - Самара: СамГУ, 2019.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-148598">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-148598</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 7 (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

Вид ПО	Наименование ПО
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	SOLIDWORKS Education Edition ( дог.№ L271113-83М от 27.10.2013 каф.ПКТЭС АКФ)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	КОМПАС-3D V18 Уч.вер.(АКФ, МКМК, лиц.Иж-17-00089)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
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	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	12

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Динамика и прочность турбомашин»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки</b>	<u>13.03.03 Энергетическое машиностроение</u>
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	<u>Газоперекачивающие агрегаты и энергетические установки</u>
<b>Квалификация выпускника:</b>	<u>бакалавр</u>
<b>Выпускающая кафедра:</b>	<u>Ракетно-космическая техника и энергетические системы</u>
<b>Форма обучения:</b>	<u>очная</u>

**Курс:** 4

**Семестр:** 8

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:

4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану:

144 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Дифф. зачёт: 8 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (8-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и дифференцированного зачета. 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		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Дифф. зачёт
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>3.1</b> Знать методики расчета динамических нагрузок, возникающих в процессе функционирования ГТУ и ГПА; знает основы расчета динамического НДС конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА; методы оценки динамических свойств материалов и конструкций.		ТО1		КР2		ТВ
<b>3.2</b> Знать экспериментальную базу динамических исследований в турбомашинах; современные технологии динамического анализа работы ГТУ и ГПА; методики обработки экспериментальных исследований динамического поведения ГТУ и ГПА.	С1	ТО2		КР1		ТВ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Дифф. зачёт
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> Уметь проводить динамический анализ работы агрегатов и турбомашин; выбирать конструктивные решения для снижения динамических НДС конструктивных элементов турбомашин; формировать технические решения с учетом динамических особенностей работы ГТУ и ГПА			ОЛР1	КР2		ПЗ 1
<b>У.2</b> Уметь формировать результаты динамических испытаний в технические предложения по совершенствованию работы ГТУ и ГПА; анализировать результаты динамических испытаний и представлять их в виде технических решений.			ОЛР2	КР1		ПЗ 2,3
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> Владеть т навыками принятия конкретных решений при анализе динамического НДС конструктивных элементов ГТУ и ГПА; навыками расчета динамических нагрузок; навыками выбора методик оценки динамического НДС конструкций и элементов ГТУ и ГПА			ОЛР2			ПЗ 2
<b>В.2</b> Владеть навыками принятия конкретных технических решений при доработке конструкции ГТУ и ГПА; владеет навыками поиска технической информации применительно к конкретной задаче динамического анализа ГТУ и ГПА			ОЛР3			ПЗ 3

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

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

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной

аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучающегося и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучающимися отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

## **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. 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, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 3 лабораторных работ и 5 практических занятий. Типовые темы лабораторных работ и практических занятий приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР - по модулю 1 «Динамический анализ ГТУ и ГПА», вторая КР – по модулю 2 «Инженерные методы расчета», третья КР - по модулю 3 «Динамические испытания ГТУ и ГПА».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Классификация динамических нагрузок, действующих на ГТУ и ГПА на различных этапах их эксплуатации.

2. Теоретические методы определения колебаний в ГТУ и ГПА. Собственные продольные колебания стержня переменной погонной массы и жесткости. Метод последовательных приближений при определении собственных частот и форм колебаний,

3. Основные уравнения динамического анализа напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ГТУ и ГПА. Алгоритм расчета ресурса работы элемента.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Прочностные расчеты стенок камеры сгорания ГТУ, баков, расчет вафельных конструкций, расчет силовых и переходных отсеков ГТУ. Оценка прочности конструктивных элементов.

2. Трехмерная постановка задачи о колебаниях валов и лопаток ГТУ и компрессора. Отличия в решении от балочной постановки задачи.

3. Упрощенная методика оценки несущей способности конструктивных элементов камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных конструкций, ферм и трубопроводов.

#### **Типовые задания третьей КР:**

1. Постановка и задачи динамического анализа по определению НДС конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА.

2. Влияние динамических нагрузок на надежность ГТУ и ГПА.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

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

### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

#### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для дифференцированного зачета по дисциплине**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Понятия динамики и динамической нагрузки. Классификация динамических нагрузок, действующих на ГТУ и ГПА на различных этапах их эксплуатации..

2. Основные задачи динамического анализа. Методы решения динамических задач. Технические решения на этапе динамического анализа..

3. Механизмы возникновения изгибных и продольных автоколебаний конструктивных элементов ГТУ и ГПА.

4. Динамическое напряженно-деформированное состояние элемента. Связь динамического и статического модулей материала.

5. Динамическое поведение валов ГТУ и компрессора лопаточного типа с корпусом ГПА Трехмерная постановка задачи о колебаниях валов и лопаток ГТУ и компрессора.



6. Упрощенная методика оценки несущей способности конструктивных элементов камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных конструкций, ферм и трубопроводов.

7. Параметры, определяемые при динамических испытаниях ГТУ и ГПА. Влияние динамических нагрузок на надежность ГТУ и ГПА.

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

1. Провести оценку нагрузок, действующих на ГТУ и ГПА.
2. Сделать оценку устойчивости конструктивных элементов от действия статической и динамической нагрузок для ГТУ.
3. Составить план динамических испытаний ГТУ.

#### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Рассчитать продольные изгибные и крутильные колебания ГТУ.
2. составить алгоритм динамического анализа ГТУ.
3. Сформировать требования к динамическим испытаниям ГТУ.

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

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

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

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

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом 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.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.