

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

« 03 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Динамика газотурбинных установок
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 180 (5)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код и наименование направления)

Направленность: Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование комплекса знаний по повышению компетенция в области анализа динамического поведения конструктивных элементов, узлов и систем газотурбинных двигателей, газоперекачивающих агрегатов и других энергетических установок.

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

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

– формирование умений в освоении приемов и методов 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 алгоритмом 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
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-1ПК-2.2	Знает современные методы расчета на прочность, устойчивость конструктивных элементов ГТУ и ГПА, методы динамического анализа применительно к ГТУ и ГПА, методы экспериментальных исследований физико-механических свойств материалов и механизмы влияния на физико-механические свойства материалов динамических нагрузок.	Знает порядок координации действий исполнителей работ по инженерно-техническому проектированию энергетического оборудования.	Дифференцированный зачет
ПК-2.2	ИД-2ПК-2.2	Умеет определять динамические нагрузки, действующих на конструктивные элементы и узлы ГТУ и ГПА, выбирать методики оценки влияния динамических нагрузок на конструктивные элементы и узлы ГТУ и ГПА, определять основное динамическое состояние элементов и узлов ГТУ и ГПА.	Умеет определять параметры контроля хода работ по инженерно-техническому проектированию энергетического оборудования, качества и исполнения требований технической документации при проектировании.	Дифференцированный зачет
ПК-2.2	ИД-3ПК-2.2	Владеет навыками расчета динамических нагрузок для конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА и расчетов на прочность, устойчивость основных элементов и узлов ГТУ и ГПА.	Владеет навыками организации сбора результатов мониторинга работ по инженерно-техническому проектированию энергетического оборудования для контроля хода проектирования.	Дифференцированный зачет

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	50	50	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	108	108	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

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
3-й семестр				
Динамические нагрузки, действующие на ГТУ и формы колебаний конструкции ГПА	1	0	0	0
Введение. Динамические нагрузки, действующие на ГТУ. Определения теории колебаний и механизмы их возникновения в ГТУ и ГПА.				
Динамическая устойчивость ГТУ	2	2	0	10
Задачи динамического анализа ГТУ. Колебания ГТУ.				
Расчет динамического НДС ГТУ	4	8	0	10
К расчету напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ГТУ. Моментная и безмоментная теория оболочек.				
Основные расчетные схемы конструкционной прочности основных элементов газотурбинного двигателя	7	16	0	40
Динамическое поведение валов ГТУ и компрессора лопаточного типа с корпусом ГПА. Расчет пластин, оболочек, стержней.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Экспериментальные методы исследований динамической прочности конструктивных элементов ГТУ и ГПА	4	24	0	48
Напряжения и деформации в лопатке ГТУ и компрессора ГПА. Расчет камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных конструкций сложной геометрической формы и трубопроводов. Динамические испытания ГТУ. Основные моменты в понимании основных подходов в изучении и освоении дисциплине «Динамика газотурбинных установок», формирования компенсаций специалиста.				
ИТОГО по 3-му семестру	18	50	0	108
ИТОГО по дисциплине	18	50	0	108

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение собственных форм и частот колебаний конструктивных элементов ГТУ и ГПА
2	Исследование влияния геометрических параметров на НДС при динамических нагрузках на конструкцию ГТУ
3	Влияние изгибных колебаний на герметичность ГТУ
4	Динамические испытания ГТУ

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой 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 установления связей с ранее освоенным материалом.</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

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
1. Основная литература		
1	Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 4).	38
2	Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин : учебник для вузов / А. Г. Костюк. - Москва: Изд-во МЭИ, 2000.	7
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Динамика механизмов : учебное пособие / А. А. Головин [и др.]. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.	11
2.2. Периодические издания		
1	Авиационная промышленность : научно-технический журнал / Государственный комитет Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности; Научно-исследовательский институт авиационной технологии. - Москва: НИАТ, 1932 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/lanRU-LAN-BOOK-106277	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Крец В. Г. Машины и оборудование газонефтепроводов : учебное пособие / Крец В. Г., Рудаченко А. В., Шмурыгин В. А.	http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-104949	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	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
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.

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	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/

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

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 газотурбинных установок»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки	<u>13.04.03 Энергетическое машиностроение</u>
Направленность (профиль) образовательной программы:	<u>Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели</u>
Квалификация выпускника:	<u>магистр</u>
Выпускающая кафедра:	<u>Ракетно-космическая техника и энергетические системы</u>
Форма обучения:	<u>очная</u>

Курс: 2

Семестр: 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:

5 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану:

180 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифференцированный зачёт: 3 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 (3-го семестра учебного плана) и разбито на 5 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные 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 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
Усвоенные знания						
З1. Знает современные методы расчета на прочность, устойчивость конструктивных элементов ГТУ и ГПА, методы динамического анализа применительно к ГТУ и ГПА, методы экспериментальных исследований физикомеханических свойств материалов и механизмы влияния на физикомеханические свойства материалов динамических нагрузок.		ТО1		КР2		ТВ
Освоенные умения						
У1. Умеет определять динамические нагрузки, действующих на конструктивные элементы и узлы ГТУ и ГПА, выбирать методики оценки влияния динамических нагрузок на конструктивные элементы и узлы ГТУ и ГПА, определять основное динамическое состояние элементов и узлов ГТУ и ГПА			ОЛР1	КР2		ПЗ
Приобретенные владения						
В1. Владеет навыками расчета динамических нагрузок для конструктивных элементов и узлов ГТУ и ГПА и расчетов на прочность, устойчивость основных элементов и узлов ГТУ и ГПА.			ОЛР6			ПЗ

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 обучаемого 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 обучаемыми 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 4 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ 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 модулям 1 и 2 «Динамические нагрузки, действующие на ГТУ и формы колебаний конструкции ГПА» и «Динамическая устойчивость ГТУ», вторая КР – по модулям 3 и 4 «Расчет динамического НДС ГТУ» и «Основные расчетные схемы конструкционной прочности основных элементов газотурбинного двигателя», третья КР – по модулю 5 «Экспериментальные методы исследований динамической прочности конструктивных элементов ГТУ и ГПА».

Типовые задания первой КР:

1. Определения теории колебаний и механизмы их возникновения в ГТУ и ГПА.
2. Задачи динамического анализа ГТУ. Колебания ГТУ.

Типовые задания второй КР:

1. К расчету напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ГТУ.
2. Динамическое поведение валов ГТУ и компрессора лопаточного типа с корпусом ГПА.

Типовые задания третьей КР:

1. Напряжения и деформации в лопатке ГТУ и компрессора ГПА
2. Динамические испытания ГТУ.

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 зачета. 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 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 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 зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Определение собственных форм и частот колебаний конструктивных элементов ГТУ и ГПА.

2. Расчет тонкостенных конструкций в ГТУ, переходные отсеки.

3. Влияние изгибных колебаний на герметичность ГТУ.

4. Расчет камеры сгорания ГТУ, баков, пространственных конструкций сложной геометрической формы и трубопроводов.

5. Динамическое поведение валов ГТУ и компрессора лопаточного типа с корпусом ГПА.

6. Расчет критических частот вращения валов в ГТУ.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Разработать схему оценки динамической устойчивости ГТУ.
2. Разработать алгоритм динамического анализа ГТУ.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Провести оценку НДС лопатки турбины.
2. Провести расчет критической скорости вращения вала компрессора.
3. Рассчитать условия не раскрытия стыка отсека камеры сгорания ГТУ.

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на 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 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 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 зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.