

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

« 21 » января 20 22 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Математическое моделирование наземных газотурбинных 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

Цель дисциплины

– формирование знания технологии разработки математической модели наземного газотурбинного двигателя.

В процессе изучения данной дисциплины студент должен:

- Получить опыт использования знаний теоретических основ рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и методов их моделирования с применением современных компьютерных технологий;
- Получить опыт проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов газотурбинных двигателей и энергетических установок.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование знаний теоретических основ рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках; методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.
- формирование умения пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и их агрегатах; проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.
- формирование навыков 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; 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.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты:

- математическая модель наземного газотурбинного двигателя как термодинамической системы;
- рабочие процессы в наземных газотурбинных двигателях;
- задачи численного моделирования процессов в наземных газотурбинных двигателях;
- параметрическая диагностика наземного газотурбинного двигателя.

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	– типовые схемы наземных газотурбинных двигателей и методы их отображения с помощью математических моделей; – современные методы математического моделирования процессов в наземных газотурбинных двигателях;	Знает теоретические основы рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Дискуссия
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	– осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов в наземных газотурбинных двигателях и составление алгоритма ее решения; – задавать для неё начальные и граничные условия;	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и их агрегатах.	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	–навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования наземных газотурбинных двигателей.	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.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	– технологию постановки задачи численного моделирования процессов в наземных газотурбинных двигателях и подготовки данных для вычислительного эксперимента;	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Дискуссия
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	– работать с конкретными схемами наземных газотурбинных двигателей и составлять математические модели;	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с	Отчёт по практическом у занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			использованием аналитических и численных методов исследования.	
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	– навыками подготовки вычислительного эксперимента (алгоритмизация, начальные и граничные условия) с учётом специфики наземных газотурбинных двигателей.	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.	Экзамен

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		9	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	23	23	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	27	27	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- 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
9-й семестр				
Математические модели физических процессов и технология их применения при создании двигателей	4	0	4	10
<p>Введение. Предмет и цель изучения курса «математическое моделирование наземных газотурбинных установок». Газотурбинный двигатель как объект проектирования. Главная задача термогазодинамического проектирования—определение его выходных характеристик на стационарных и нестационарных режимах при любом сочетании погодных условий.</p> <p>Тема 1. Общие сведения о математическом моделировании.</p> <p>Понятие математической модели объекта. Основные задачи, решаемые с помощью математического моделирования. Виды моделей и их классификация по уровню описания физических процессов. Комбинации моделей разного уровня.</p> <p>Фокусирование. Модели, работающие в реальном масштабе времени.</p> <p>Тема 2. Определение облика двигателя с помощью модели установки.</p> <p>Основные положения методологии оптимального проектирования. Критерии оптимизации и требования, ограничивающие задачу оптимизации. Условия определения облика двигателя.</p> <p>Математическая модель наземной газотурбинной установки. Область эксплуатации двигателя. Определение потребных мощностей двигателя.</p> <p>Данные для проектирования двигателя. Ожидаемые условия эксплуатации.</p> <p>Тема 3. Критерии оптимизации наземного газотурбинного двигателя.</p> <p>Экономический критерий: стоимость жизненного цикла. Технические критерии: экономичность и КПД двигателя, удельный расход топлива (максимальная полезная работа). Оптимальное соотношение параметров цикла, оптимизация КПД и мощности между силовой турбиной и турбиной компрессора.</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
Методика построения математической модели двигателя	9	0	11	24
<p>Тема 4. Блок-схема математической модели ГТД. Разбиение ГТД как системы на подсистемы (блоки) и составление системы уравнений связей между блоками.</p> <p>Тема 5. Понятие расходной характеристики узла. Расходная характеристика как замыкающий (граничный) элемент системы. Типовые расходные характеристики компрессора, турбины, ВУ.</p> <p>Тема 6. Критерии подобия режимов работы ГТД. Практический смысл применения критериев подобия для математических моделей узлов двигателя и двигателя в целом. Формирование критериев подобия. Геометрическое, кинематическое и гидродинамическое подобие режимов работы.</p> <p>Тема 7. Физические основы построения математической модели камеры сгорания. Закон Гесса. Теплотворная способность топлива. Теоретически необходимое количество окислителя и коэффициент избытка воздуха. Условия устойчивого горения.</p> <p>Тема 8. Основы механизмов формирования эмиссии вредных веществ. Механизм генерации вредных веществ. Традиционная технология организации горения. Нормирование эмиссии окислов азота. Основные пути развития малоэмиссионных камер сгорания.</p> <p>Тема 9. Математическая модель системы управления двигателем. Принципиальная схема системы управления. ПИД-регулятор. Дополнительные функции системы управления, многоконтурность.</p> <p>Тема 10. Особенности моделирования процессов в смесителе и определение гидравлических потерь по тракту двигателя. Функция и смысл применения смесителя в двухконтурном двигателе. Особенности математической модели смесителя и ее применение.</p>				
Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТД	6	0	8	12
Тема 11. Общая постановка задачи моделирования. Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные. Система дифференциальных уравнений математической модели. Рекуррентные соотношения. Условия окончания процесса моделирования (интегрирования системы				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
уравнений): асимптотическое и периодическое решения. Тема 12. Особенности моделирования автоколебательных процессов в компрессоре и камере сгорания. Причины автоколебательности системы: краевые условия с энергетической подпиткой, наличие нелинейного элемента в системе (невозможность стационарного решения) и обратной связи. Упрощенные модели срыва горения в камере сгорания и помпажа в компрессоре.				
Применение математической модели ГТД в задачах диагностики технического состояния двигателей	4	0	4	8
Тема 13. Задача диагностики технического состояния объекта Измеряемые и неизмеряемые параметры. Представление измеряемых параметров объекта в виде разложения функции в ряд Тэйлора в окрестности режима по неизмеряемым параметрам. Решение системы линейных уравнений относительно неизмеряемых параметров. Пример решения задачи.				
ИТОГО по 9-му семестру	23	0	27	54
ИТОГО по дисциплине	23	0	27	54

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Разработка математической модели первого уровня для наземной газотурбинной установкой
2	Методика структурирования двигателя как подсистемы на примере ПС-90ГП-2
3	Методика построения математических моделей узлов
4	Применение теории подобия в математическом моделировании
5	Построение математической модели системы управления двигателем
6	Построение математической модели ВУ
7	Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные. Рекуррентные соотношения
8	Постановка задачи моделирования автоколебательных процессов в двигателе
9	Постановка задачи параметрической диагностики состояния объекта

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.

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.

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 практическим занятиям, 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	Августинович В. Г. Математическое моделирование авиационных двигателей : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2008. 99 с.	48
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Кудинов А. А. Газодинамика : учебное пособие. Москва : ИНФРА-М, 2015. 335 с. 21,0 усл. печ. л.	2
2	Методы оптимизации испытаний и моделирования систем управления газотурбинными двигателями / Дедеш В. Т., Герман В. М., Августинович В. Г., Архипов Г. Н. Москва : Машиностроение, 1990. 160 с.	4

3	Нестационарные явления в турбомашинах (Численное моделирование и эксперимент) / Августинович В. Г., Иноземцев А. А., Шмотин Ю. Н., Сипатов А. М., Румянцев Д. Б. Екатеринбург Пермь : Ин-т механики сплош. сред УрО РАН, 1999. 279 с.	4
4	Самойлович Г. С. Газодинамика : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1990. 383 с.	12
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
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)
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника	http://vestnik.pstu.ru/aero	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

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	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Макет-разрез ТРДД ПС-90	1
Лекция	Мультимедийный проектор	1
Лекция	Планшет с продольным разрезом двигателя ПС-90	2
Практическое занятие	Мультимедиа лаборатория конструкции ГТД (Персональные компьютеры)	20

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**

УТВЕРЖДЕНО

на заседании кафедры АД

протокол № ___ «___» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой

«Авиационные двигатели»

_____ А. А. Иноземцев

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Математическое моделирование наземных газотурбинных установок»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Приложение к рабочей программе дисциплины

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

Курс: 5

Семестр(ы): 9

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:

4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану:

144ч

Виды контроля:

Экзамен: **9** Диф. зачёт: **-нет** Зачет: **-- нет** Курсовой проект: **-нет** Курсовая работа: **-нет**

Пермь, 2022 г.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Математическое моделирование наземных газотурбинных 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 «Математическое моделирование наземных газотурбинных установок», утвержденной «17» июля 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.ДВ.03.2 «Математическое моделирование наземных газотурбинных установок» участвует в расширении и углублении следующих профессиональных компетенций:

ПК-1.2, ПК-2.1:

В рамках учебного плана образовательной программы в 9-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. ПК-1.2. Способен использовать знание теоретических основ рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и методов их моделирования с применением современных компьютерных технологий;
2. ПК-2.1. Способен проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок.

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (9-го базового учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется 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, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, выполнением контрольных работ, защитой отчетов по лабораторным работам и экзаменом. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень контролируемых результатов по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий и промежуточный		Рубежный	Промежуточная аттестация	
	ТК	ПЗ	ИЗ	КР	Экзамен

Усвоенные знания					
З.1 типовые схемы наземных ГТУ и методы их отображения с помощью математических моделей;	С				ТВ
З.2 современные методы математического моделирования процессов в наземных ГТУ;	С				ТВ
З.3 технология постановки задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и подготовки данных для вычислительного эксперимента;	С				ТВ
З.4 технология построения математической модели наземной ГТУ;	С	ПЗ 1-2			ТВ
Освоенные умения					
У.1 осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов наземных ГТУ и составление алгоритма ее решения;		ПЗ 3-12	ИЗ	КР1	ТВ
У.2 задавать начальные и граничные условия для решения системы уравнений, являющейся математической моделью двигателя		ПЗ 13-16	ИЗ	КР2	ТВ
У.3 работать с конкретными схемами наземных ГТУ и составлять математические модели;		ПЗ 3-12	ИЗ	КР1	ТВ
У.4 решить задачу или составить алгоритм ее решения;		ПЗ 17-18	ИЗ	КР3	ТВ
Приобретенные владения					
В.1 навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования наземных ГТУ.		ПЗ 3-18	ИЗ		ТВ
В.2 навыками подготовки вычислительного эксперимента (алгоритмизация, начальные и граничные условия).		ПЗ 13-16	ИЗ		ТВ
В.3 навыками применения прикладного программного обеспечения для вычислительного эксперимента и составления отчета (описание разработанной модели) .		ПЗ 17-18	ИЗ		ТВ

ТК – текущий контроль; ИЗ – индивидуальное задание;

КР – рубежная контрольная работа по модулю (оценка знаний и умений);

ПЗ – выполнение практических занятий (оценка умений и владений)

ТВ-теоретический вопрос

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 контрольной работы проводится по каждому модулю теоретического материала. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

Всего предусмотрено 3 текущих контрольных работ по всем модулям дисциплины

Тематика текущих контрольных работ:

Тема 1-10: Общие сведения о математическом моделировании.

Математическая модель наземной ГТУ.

Тема 11, 12: Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТУ.

Тема 13: Применение математической модели ГТУ в задачах диагностики технического состояния двигателей.

Типовые вопросы для контрольной работы 1 (КР1) текущего контроля усвоенных знаний:

1. Основные задачи, решаемые с помощью математического моделирования.
2. Классификация применяемых моделей.
3. Моделирование в реальном масштабе времени.
4. Стоимость жизненного цикла.
5. Энергетические и транспортные ГТУ.
6. Основные требования к ГТУ по надежности и безопасности.
7. Ожидаемые условия эксплуатации.
8. Основные режимы работы двигателя, какими требованиями они определяются.
9. Критерии подобия ГТД и процедура их формирования.
10. Расходные характеристики компрессора, турбины и проходных сечений камеры сгорания, смесителя и сопла.
11. Закон Гесса и его прикладное значение.
12. Низшая и высшая теплотворная способность топлива.
13. Направления разработки малоэмиссионных камер сгорания.
14. Понятие ПИД-регулятора.

Типовые вопросы для контрольной работы 2 (КР2) текущего контроля усвоенных знаний:

1. Структура исходных данных для построения математической модели двигателя. Понятие векторов входа, выхода, состояния и управления.
2. Граничные условия (стационарные и нестационарные).
3. Начальные условия.

4. Условия окончания решения дифференциальных уравнений, составляющих математическую модель наземной ГТУ.
5. Обратная связь в автоколебательных процессах.

Типовые вопросы для контрольной работы 3 (КР3) текущего контроля усвоенных знаний:

1. Понятие линейной математической модели ГТУ.
2. Понятие матрицы коэффициентов влияния.
3. Измеряемые и неизмеряемые параметры и связь между ними.
4. Методы получения коэффициентов влияния неизмеряемых параметров на измеряемые.
5. Принцип диагностики наиболее вероятного сочетания отклонений неизмеряемых параметров.

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 собеседования (согласно РПД во время изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита индивидуального задания

Всего запланировано одно индивидуальное задание на группу студентов из трех-четырех. В качестве индивидуальных заданий используются газодинамические (конструктивные) схемы конкретных наземных ГТУ из имеющегося банка данных.

Защита индивидуального задания проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы специалитета.

2.3. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача индивидуального задания и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля. Промежуточная аттестация включает в себя экзамен (9-й семестр).

2.3.1. Экзамен

Экзамен по дисциплине проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса (ТВ) для проверки усвоенных знаний заявленных дисциплинарных компетенций. Для проверки освоенных умений могут использоваться практические задания (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы, контролирующие уровень сформированности всех заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС программы специалитета.

2.3.2. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Основные задачи, решаемые с помощью математического моделирования.
2. Классификация применяемых моделей.
3. Математическая модель наземной ГТУ.
4. Типы приводов в наземной ГТУ.
5. Моделирование процессов в ГТУ в реальном масштабе времени.
6. Стоимость жизненного цикла.
7. Сложные термодинамические циклы наземных ГТУ.
8. Основные требования к наземной ГТУ по надежности и безопасности.
9. Ожидаемые условия эксплуатации наземной ГТУ.
10. Основные режимы работы наземной ГТУ, какими требованиями они определяются.
11. Критерии подобия ГТУ и процедура их формирования.
12. Расходные характеристики компрессора, турбины и проходных сечений камеры сгорания, смесителя и сопла.
13. Закон Гесса и его прикладное значение.
14. Низшая и высшая теплотворная способность топлива.
15. Закон Аррениуса и генерация эмиссии вредных веществ NO, CO.
16. Направления разработки малоэмиссионных камер сгорания.
17. Понятие ПИД-регулятора.
18. Матмодель многоконтурной системы управления ГТУ.
19. Структура исходных данных для построения математической модели двигателя. Понятие векторов входа, выхода, состояния и управления.
20. Граничные условия (стационарные и нестационарные).
21. Начальные условия.
22. Условия окончания решения дифуравнений, составляющих матмодель двигателя.
23. Обратная связь в автоколебательных процессах.
24. Критерий Рэлея возбуждения термоакустических автоколебаний в камерах сгорания.
25. Акустический резонанс в узлах ГТУ.
26. Понятие линейной математической модели ГТУ.
27. Понятие матрицы коэффициентов влияния.
28. Измеряемые и неизмеряемые параметры и связь между ними.
29. Методы получения коэффициентов влияния неизмеряемых параметров на измеряемые.
30. Принцип диагностики наиболее вероятного сочетания отклонений неизмеряемых параметров.

2.3.3. 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 общей части ФОС программы специалитета.

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 общей части ФОС программы специалитета.

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.

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

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы специалитета.