

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 17 » февраля 20 ____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ Теория горения топлив в газотурбинных установках
(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

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с разработкой камеры сгорания ГТУ и оптимизацией протекающих в ней процессов горения топлив; формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем; воспитание навыков технической культуры.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с организацией рабочего процесса, протекающего в камере сгорания ГТУ;
- изучение особенностей конструкции камеры сгорания ГТУ и процессов горения топлив;
- формирование умения оптимизации параметров камеры сгорания ГТУ и определение путей повышения её эффективности и надёжности;
- овладение методологией проектирования и расчёта камер сгорания ГТУ.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- топлива газотурбинных установок;
- основные процессы горения топлив в ГТУ: смесеобразование, воспламенение, горение, распространение пламени;
- методы анализа и оптимизации процессов в камере сгорания ГТУ;
- методология проектирования камер сгорания газотурбинных установок.

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-2.1	ИД-1ПК-2.1	Знает: – физико-химические свойства и энергетические характеристики топлив ГТУ, основные процессы их горения, условия работы камеры сгорания ГТУ; – способы и схемы организации процесса сжигания топлив в ГТУ, классификацию конструкций камер сгорания ГТУ; – методы исследования процессов сжигания топлив в ГТУ, способы повышения их энергетической эффективности и надёжности.	Знает теоретические основы рабочих процессов в газотурбинных установках (ГТУ) и газоперекачивающих агрегатах (ГПА), основные термодинамические циклы и способы регулирования ГТУ при переменном режиме их работы, методологию гидрогазодинамического расчёта элементов ГТУ, методы расчётов термодинамических процессов ГТУ, современные технологии проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества, тенденции развития энергетического машиностроения.	Дифференцированный зачет
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Умеет: – формулировать критерии и направления оптимизации процессов сжигания топлив в ГТУ; – формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение высокой энергетической эффективности и надёжности камер сгорания ГТУ	Умеет выполнять термо-прочностные, тепловые и газодинамические расчёты с использованием современных пакетов; формировать результаты научных достижений в технические предложения по совершенствованию работы ГТУ и ГПА, анализировать современные достижения в области энергетики для практических рекомендаций по доработке ГТУ и ГПА.	Защита лабораторной работы
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеет: – методами анализа мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности и надёжности камер сгорания ГТУ;	Владеет методами анализа мероприятий, направленных на повышение гидрогазодинамической эффективности и надёжности элементов ГТУ и принятия конкретных технических	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		– перспективными методиками исследования процессов сжигания топлив в ГТУ и повышением их эффективности.	решений при доработке конструкции ГТУ и ГПА.	

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				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основы теории горения	4	12	0	27
<p>Введение</p> <p>Основные элементы газотурбинных установок (ГТУ). Камера сгорания ГТУ и краткое описание протекающих в ней процессов. Основные задачи теории горения топлив газотурбинных установок. Состав дисциплины. Связь теории горения с другими дисциплинами. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.</p> <p>Тема 1. Общая характеристика топлив ГТУ</p> <p>Требования, предъявляемые к топливам ГТУ. Классификация топлив: по агрегатному состоянию (газообразное, жидкое, твёрдое), по происхождению (природное, искусственное). Состав топлива (химический состав, влажность, зольность). Теплота сгорания. Газообразное топливо. Природный газ. Нефтепромысловые газы (попутные газы нефтедобычи). Генераторный газ. Газ подземной газификации углей. Жидкое топливо. Бензин, лигроин, керосин, дизельное и моторное топливо, мазут. Физико-химические свойства: плотность, теплоёмкость, температура застывания (кристаллизации) и вспышки, теплота испарения, теплопроводность, вязкость; фракционный состав, зольность. Твёрдое топливо. Каменные угли.</p> <p>Тема 2. Основные процессы горения топлива</p> <p>Образование горючей смеси (смесеобразование), воспламенение, горение, распространение пламени. Стехиометрическое количество воздуха. Коэффициент избытка воздуха. Бедная и богатая топливовоздушная смесь.</p> <p>Тема 3. Термодинамика горения</p> <p>Термодинамические характеристики: температура, давление, химический состав продуктов сгорания. Модель термодинамических процессов. Гомогенная и гетерогенная смесь. Термическая диссоциация и ионизация продуктов сгорания. Химическое и фазовое равновесие. Равновесные и замороженные параметры продуктов сгорания. Термодинамический расчёт. Исходные данные для расчёта: элементный состав топлива (условная формула топлива или его компонентов), энтальпия компонентов топлива. Методы термодинамического расчёта. Анализ результатов.</p>				
Основы химической физики	6	12	0	27
<p>Тема 4. Физика и химия горения</p> <p>Горючая смесь. Воспламенение горючей смеси. Параметры воспламенения: температура воспламенения, период (время) задержки (период</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
индукции) воспламенения, концентрационные пределы воспламенения. Скорость химической реакции. Закон Аррениуса. Условие самовоспламенения горючей смеси (условие Семёнова). Вынужденное воспламенение (зажигание) горючей смеси. Границы (пределы) воспламенения. Самовоспламенение компонентов пусковых топлив. Электроискровое и факельное зажигание. Горение горючей смеси. Гомогенное и гетерогенное горение. Диффузионное квазигетерогенное горение (диффузионное горение капель жидкого топлива в воздухе). Схема горения капли жидкого топлива. Тема 5. Распространение пламени Развитие процесса горения, пламя. Типы пламён: ламинарное, ламинарное диффузионное, турбулентное; пламя при горении капли (взвеси) жидкого топлива в воздухе. Процесс ламинарного распространения пламени. Скорость распространения пламени. Видимая и нормальная скорость пламени. Фронт пламени. Структура фронта пламени. Зависимость нормальной скорости от параметров горючей смеси.				
Турбулентное горение и организация рабочего процесса	4	12	0	27
Тема 6. Турбулентное горение Распространение пламени в турбулентном потоке. Турбулентный перенос тепла и вещества. Турбулентный фронт пламени и скорость его распространения. Параметры турбулентности потока смеси: средняя и пульсационная скорости, степень (интенсивность) турбулентности (число Кармана); эйлеров и лагранжев масштаб турбулентности; время турбулентного смешения. Мелкомасштабная и крупномасштабная турбулентность. Два механизма турбулентного горения, связанные с масштабом турбулентности. Тема 7. Организация рабочего процесса камер сгорания ГТУ Основные принципы организации рабочего процесса: разделение рабочего объёма камеры сгорания на две зоны – горения и смешения; постепенный (ступенчатый) подвод первичного воздуха по длине зоны горения; обеспечение турбулизации потока в зоне горения; обеспечение стабилизации пламени в зоне горения. Схема организации. Классификация конструкций камер сгорания: кольцевая, трубчато-кольцевая, секционная, индивидуальная. Сжигание газообразного топлива. Сжигание жидкого топлива. Влияние отдельных факторов на рабочий				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
процесс камер сгорания.				
Внутрикамерные процессы в газотурбинных установках	4	14	0	27
Тема 8. Смесеобразование Общие сведения о смесеобразовании. Ввод, распределение, распыление, смешение топлива с воздухом. Форсунки: жидкостные, газовые и газожидкостные; струйные, центробежные и струйно-центробежные; одно- и двухкомпонентные. Характеристики распыления жидкого топлива: тонкость (мелкость) и однородность распыла; спектр распыла, средние, медианные и максимальные размеры капель. Факел распыла, его форма и дальнобойность. Эпюра расходонапряжённости форсунки. Струйные форсунки. Коэффициент расхода, угол распыла. Расчёт геометрии канала форсунки. Центробежные форсунки. Коэффициент расхода, угол распыла. Геометрические характеристики форсунки. Расчёт центробежной форсунки. Тема 9. Стабилизация фронта пламени Стабилизация пламени с использованием плохобтекаемых тел (стабилизаторов). Рециркуляционные потоки. Зона обратных токов. Эшелонированное распределение стабилизаторов в камере сгорания. Критерий стабилизации (критерий Михельсона). Элементы расчёта размера стабилизатора пламени.				
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	Анализ составов горючей смеси в камере сгорания ГТУ: керосин-воздух, природный газ-воздух
2	Термодинамический анализ процессов в камере сгорания ГТУ, работающей на керосине
3	Термодинамический анализ процессов в камере сгорания ГТУ, работающей на природном газе
4	Анализ условий воспламенения горючей смеси керосин-воздух
5	Анализ условий воспламенения горючей смеси природный газ-воздух
6	Определение нормальной скорости распространения пламени в горючей смеси природный газ-воздух
7	Анализ турбулентного горения горючей смеси природный газ-воздух

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
8	Разработка схемы организации рабочего процесса камер сгорания ГТУ
9	Анализ конструкций камер сгорания ГТУ
10	Проектирование струйной форсунки
11	Проектирование центробежной форсунки

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

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.

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
1. Основная литература		
1	Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев [и др.]. - Москва: Издат. дом МЭИ, 2011.	12
2. Дополнительная литература		

2.1. Учебные и научные издания		
1	Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей : конструкция, моделирование процессов и расчет : учебное пособие / Б.Г. Мингазов. - Казань: Изд-во КГТУ, 2006.	7
2	Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев [и др.]. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1986.	5
3	Пчелкин Ю. М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей : учебник для вузов / Ю. М. Пчелкин. - Москва: Машиностроение, 1973.	4
4	Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий. - Москва: Наука, 1987.	6
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - 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)
Дополнительная литература	Нусс С. В. Энергетические установки : учебное пособие	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3326	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
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 Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.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/

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
