

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: Термодинамические процессы газотурбинных установок и их
регулирование
_____ (наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: _____ 252 (7)
(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 термодинамических процессов, протекающих в ГТУ, со способами их регулирования при переменном режиме работы, с их тепловыми схемами и циклами; формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем; воспитание навыков технической культуры.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с современными методологиями проектирования и расчёта ГТУ, со способами их регулирования при переменном режиме работы;
- изучение тепловых схем, рабочего процесса и термодинамических циклов ГТУ;
- формирование навыков оптимизации параметров циклов ГТУ и определение их термодинамической эффективности при стационарном и переменном режиме работы.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- ГТУ различных тепловых схем;
- методы термодинамического анализа и оптимизации процессов в ГТУ;
- способы повышения энергетической эффективности ГТУ;
- способы регулирования ГТУ при переменном режиме их работы;
- методология проектирования 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
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает методы исследования термодинамических процессов ГТУ.	Знает методы проведения технических расчетов и определения эффективности эксплуатации газотранспортного оборудования.	Зачет
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет формулировать критерии и методы оптимизации термодинамических процессов ГТУ.	Умеет проводить координацию рационализаторской деятельности.	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет навыками внедрения мероприятий по повышению эффективности термодинамических процессов ГТУ.	Владеет навыками внедрения мероприятий по повышению эффективности работы газотранспортного оборудования.	Курсовая работа

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: – основные термодинамические циклы и способы регулирования ГТУ при переменном режиме их работы; – методы расчётов термодинамических процессов ГТУ и способы повышения их эффективности.	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.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Умеет формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение термодинамической эффективности 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.	Отчёт по практическом занятию
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеет методами расчётного анализа и конструкторскими навыками, направленными на повышение энергетической эффективности ГТУ.	Владеет методами анализа мероприятий, направленных на повышение гидрогазодинамической эффективности и надёжности элементов ГТУ и принятия конкретных технических	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			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	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	90	45	45
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	32	18	14
- лабораторные работы (ЛР)	36	9	27
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	16	16	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	2	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	126	63	63
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	252	108	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
1-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 термодинамики. Цикл ГТУ простейшей тепловой схемы	6	3	6	23
<p>Введение</p> <p>Основные задачи дисциплины «Термодинамические процессы газотурбинных установок и их регулирование». Состав дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.</p> <p>Тема 1. Термодинамические параметры и процессы</p> <p>Параметры состояния: температура, давление, удельный объём, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия. Теплота, работа. Первый закон термодинамики. Изопараметрические процессы: изохорный, изобарный, изотермный, изоэнтропный (адиабатный). Термодинамические циклы. Коэффициент полезного действия (КПД) цикла. Цикл Карно. Классификация ГТУ по сложности термодинамического цикла: простые (по циклу Брайтона), регенеративные, карнотизированные. Совершенствование ГТУ. Два направления повышения их термодинамической эффективности: увеличение максимальной температуры цикла и применение сложных тепловых схем.</p> <p>Тема 2. Рабочий процесс и цикл ГТУ простейшей тепловой схемы</p> <p>Схема простейшей ГТУ и её термодинамический цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона). Идеальные циклы с адиабатными и изотермными процессами сжатия. Параметры цикла: удельная работа, КПД. Реальные циклы. Расчёт процессов с реальным рабочим телом. Учёт зависимости свойств газа от температуры и давления. Учёт неадиабатичности процессов при сжатии и расширении. Параметры реального цикла: удельная работа, КПД. Оптимальные степени повышения давления (ОСПД).</p>				
Применение сложных тепловых схем ГТУ	12	6	10	40
<p>Тема 3. Цикл ГТУ с регенерацией теплоты</p> <p>Схема ГТУ с регенератором. Идеальный цикл. Параметры цикла. КПД. Температурные напоры по горячему и холодному сечениям теплообменника. Степень регенерации тепла η_r. Идеальная регенерация тепла. Термический КПД регенеративного цикла. Анализ идеального регенеративного цикла. Сравнение его с циклом Брайтона. Реальный цикл с регенерацией тепла. Сравнение его с реальным циклом Брайтона.</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
<p>Потери давления рабочего тела в регенераторе. Преимущества и недостатки регенеративной схемы. Тема 4. Цикл ГТУ с промежуточным охлаждением в процессе сжатия</p> <p>Схема ГТУ с промежуточным охлаждением (ГТУ ПО) между компрессорами низкого и высокого давления (КНД и КВД). Воздухоохладитель (ВО). Основная идея промежуточного охлаждения. Идеальный цикл. Работа цикла. Термический КПД цикла. Оптимальные значения степеней сжатия в КНД и КВД. Анализ идеального цикла. Сравнение его с циклом Брайтона. Оптимальный идеальный цикл с изотермическим сжатием. Максимальная работа и КПД этого цикла. Сравнение его с циклом Брайтона и с одним промежуточным охлаждением.</p> <p>Тема 5. Цикл ГТУ с промежуточным теплоподводом в процессе расширения</p> <p>Схема ГТУ с промежуточным теплоподводом (ГТУ ТП) между турбинами высокого и низкого давления (ТВД и ТНД). Основная идея промежуточного теплоподвода. Идеальный цикл. Работа цикла. Термический КПД цикла. Анализ идеального цикла. Оптимальные значения степеней расширения в ТВД и ТНД. Сравнение циклов с промежуточным теплоподводом, с промежуточным охлаждением и Брайтона. Оптимальный идеальный цикл с изотермическим расширением. Максимальная работа и КПД этого цикла. Сравнение его с циклом Брайтона, с одним промежуточным теплоподводом и изотермическим сжатием.</p> <p>Тема 6. Циклы сложных тепловых схем ГТУ. Возможные тепловые схемы ГТУ. Наиболее применяемые в настоящее время схемы. Цикл с многократным и промежуточным охлаждением и теплоподводом, близкий к циклу Карно (в координатах T, S). Цикл с многократным и промежуточным охлаждением и теплоподводом, и с регенерацией теплоты, близкий к циклу Карно (в координатах T, S). Преимущества и недостатки сложных тепловых схем.</p>				
ИТОГО по 1-му семестру	18	9	16	63
2-й семестр				
Регулирование режимов работы ГТУ	8	17	0	33
<p>Тема 7. Переменные режимы работы ГТУ</p> <p>Расчётный и нерасчётный (переменный) режимы работы ГТУ. Статические характеристики ГТУ. Уравнение Флюгеля – Стодола. Зона допустимых режимов работы ГТУ. Способы регулирования</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
ГТУ: количественный (изменение расхода) и качественный (изменение удельной полезной работы). Количественно-качественное регулирование мощности ГТУ. Применение входного направляющего аппарата (ВНА) и поворотного направляющего аппарата (ПНА) компрессора для изменения проходного сечения проточной части. Тема 8. Стабилизация температуры воздуха Стабилизация температуры воздуха, поступающего в компрессор: подогрев наружного воздуха (при отрицательных температурах), испарительное охлаждение или применение охладителей теплообменников (при больших положительных температурах).				
ГТУ для газоперекачивающих компрессорных станций	6	10	0	30
Тема 9. Основные характеристики и проблемы приводных ГТУ Газоперекачивающие агрегаты (ГПА): нагнетатели газа и приводные ГТУ. Основные технические характеристики приводных ГТУ: мощность, начальная температура газа перед турбиной, степень повышения давления воздуха в компрессоре, эффективный КПД. Основные проблемы приводных ГТУ: топливная экономичность (повышение КПД), продление ресурса, повышение надёжности, модернизация. Тема 10. Тепловые схемы ГТУ для ГПА Работа ГПА на переменных режимах. Выбор тепловой схемы и параметров приводной ГТУ. Тепловые схемы ГТУ для ГПА: без теплообменника и с теплообменником (оптимальная степень регенерации). Введение промежуточного охлаждения воздуха при сжатии. Применение двухкаскадных компрессоров с приводом КНД и ТВД соответственно от ТНД и ТВД.				
ИТОГО по 2-му семестру	14	27	0	63
ИТОГО по дисциплине	32	36	16	126

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Изопараметрические процессы. Политропные процессы. Термодинамические циклы. КПД цикла. Цикл Карно
2	Реальный цикл Брайтона

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
3	Цикл с регенерацией теплоты
4	Цикл с промежуточным охлаждением (ГТУ ПО) между компрессорами низкого и высокого давления (КНД и КВД)
5	Цикл с промежуточным теплоподводом (ГТУ ТП) между турбинами высокого и низкого давления (ТВД и ТНД)
6	Цикл с многократным промежуточным охлаждением и теплоподводом, и с регенерацией теплоты

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Анализ тепловой схемы ГТУ с регенератором. Расчёт идеального цикла с регенерацией тепла
2	Анализ тепловой схемы ГТУ с промежуточным охлаждением. Расчёт идеального цикла с промежуточным охлаждением
3	Анализ тепловой схемы ГТУ с промежуточным теплоподводом. Расчёт идеального цикла с промежуточным теплоподводом
4	Анализ тепловой схемы ГТУ с промежуточным охлаждением и промежуточным теплоподводом
5	Анализ переменных режимов работы ГТУ
6	Рассмотрение способов регулирования ГТУ
7	Анализ способов регулирования воздуха, поступающего в компрессор ГТУ
8	Рассмотрение основных технических характеристик приводных ГТУ

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Расчёт параметров (полезной работы и КПД) реальных циклов газотурбинных установок

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.

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.

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 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	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	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебное пособие для вузов / А. А. Григорьев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.	52
2	Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок : учебник для вузов / Ю. С. Елисеев [и др.]. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.	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	Григорьев А. А. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Теоретические основы : учебное пособие для вузов	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3073	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Основы технической термодинамики, термохимии и анализ циклов газотурбинных установок / А. П. Безухов [и др.].	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2519	сеть Интернет; авторизованный 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
Курсовая работа	Компьютеры	12
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	12

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
