

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.В.02

Энергетические установки высокой эффективности в производстве электрической и тепловой энергии

Учебный план: ФГОС3++m130401.24-1_24-12.plx

Кафедра: 21 Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:
(специализация) Тепломассообменные процессы и установки

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
2	УП	17	17	2	36	2	Экзамен
	РПД	17	17	2	36	2	
3	УП	17	17	2	36	2	Экзамен, Курсовой проект
	РПД	17	17	2	36	2	
Итого	УП	34	34	4	72	4	
	РПД	34	34	4	72	4	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Барановский В.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и
тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин С.Н.

Методический отдел:

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанные с вопросами работы оборудования высокоэффективных энергетических установок (ПГУ); с техническими расчетами по оценке эффективности работы различных схем ПГУ, по определению технико-экономических характеристик ПГУ, с целью выбора наиболее предпочтительных вариантов для создания новых ПГУ.

1.2 Задачи дисциплины:

- Знакомство с тепловыми и технологическими схемами высокоэффективных парогазовых энергетических установок.
- Знакомство с оборудованием, входящим в состав ПГУ.
- Усвоить основные направления модернизации существующих и перспективных ПГУ.
- Продемонстрировать алгоритм теплового расчета ПГУ, с использованием прикладного программного обеспечения, для определения её параметров, выбора серийной установки и разработки новой.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новые знания и умения.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Надежность систем производства электрической и тепловой энергии

Теория принятия решений

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике и основные направления развития теплоэнергетики

Математическое моделирование рабочих процессов в теплоэнергетических установках

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-2.1: Способен осуществлять планирование и оптимально распределять топливно-энергетические ресурсы, в соответствии с потребностями и режимами работы тепломассообменных установок
Знать: особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии, определять технико-экономические показатели парогазовых энергетических установок.
Уметь: определять расходы топлива на выработку отдельных видов энергии.
Владеть: оценивать потребность в топливно-энергетических ресурсах, в соответствии с режимами работы энергетических установок; рассчитывать производственные мощности и загрузку оборудования.
ПК-4.1: Готов к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации тепломассообменных установок
Знать: особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии.
Уметь: определять эксплуатационные характеристики энергетических установок.
Владеть: навыками работы с нормативно-технической документацией.
ПК-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок
Знать: методики выполнения расчетов парогазовых установок; конструкции и основные технические показатели оборудования особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии.
Уметь: производить тепловой расчет парогазовых установок по заданным методикам.
Владеть: методами построения современных тепловых схем парогазовых установок.

3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Газотурбинные установки ПГУ.	2				О
Тема 1. Газотурбинные установки современных ПГУ. Классификация газотурбинных установок. Принципиальные тепловые схемы ГТУ. Коэффициент полезного действия газотурбинной установки.		2	2		
Тема 2. Эксплуатация энергетических газотурбинных установок. Характеристики отечественных и зарубежных энергетических ГТУ.		4	4		
Раздел 2. Камеры сгорания газотурбинных установок.					О
Тема 3. Камеры сгорания газотурбинных установок. Характеристики топлив, сжигаемых в камерах сгорания ГТУ. Требования к работе камер сгорания ГТУ. Типы камер сгорания энергетических ГТУ. Особенности сжигания топлива в камерах сгорания ГТУ. Одноступенчатые КС энергетических ГТУ. Двухступенчатые камеры сгорания. Каталитические камеры сгорания.		4	4		
Тема 4. Горелки для сжигания топлива в камерах сгорания ГТУ. Газодожимные компрессоры топливного газа. Дожигание топлива в среде выходных газов ГТУ.		2	2	1	
Раздел 3. Парогазовые энергетические установки.					О
Тема 5. Парогазовые установки. Общие положения. Классификация ПГУ, их преимущества и недостатки. Монарные ПГУ. Бинарные ПГУ. ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел. Цикл ПГУ с газовым регенеративным подогревателем. Цикл ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-У).	3	3	1		
Тема 6. Парогазовые установки утилизационного типа с двухконтурным котлом-утилизатором. Парогазовый блок мощностью 450 МВт Северо-западной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. Парогазовый блок мощностью 325 МВт Ивановские ПГУ. ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором. Принципиальная схема одновальной ПГУ. Преимущества и недостатки.	2	2			
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	2	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		33,5	

Раздел 4. Применение парогазовых технологий. Расчет парогазовых энергетических установок.				
Тема 7. Энергетические характеристики оборудования ТЭС. Классификация и характеристика режимов работы ТЭС. Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы ГТУ. Статические характеристики ГТУ. Охлаждение деталей газовых турбин. Способы охлаждения деталей ГТД. Оценка эффективности охлаждения деталей ГТД. Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Использование пара для охлаждения деталей газовых турбин.		4	4	
Тема 8. Анализ применения парогазовых технологий в энергетике РФ. Обзор принципиальных схем парогазовых технологий в энергетике РФ. Парогазовые технологии в теплофикации. Применение камер сжигания дополнительного топлива в котлах-утилизаторах ПГУ. Горение топлива в обедненной воздушной смеси.		3	3	О
Тема 9. Расчет тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа. Исходные данные для расчета тепловой схемы парогазовой установки. Типовая схема двухконтурной парогазовой установки. Выбор опорных значений расчетной схемы. Тепловой расчет котла-утилизатора. Выбор типа паровой турбины и расчет процесса расширения пара в ней. Расчет процесса расширения пара в паровой турбине.	3	4	4	1
Тема 10. Расчет двухконтурной парогазовой установки. Исходные данные. Определение теплофизических характеристик уходящих газов. Расчет котла-утилизатора. Приближенный расчет паровой турбины. Расчет котла-утилизатора при впрыске водяного пара в камеру сгорания		4	4	
Раздел 5. Определение технико-экономических показателей парогазовых энергетических установок.				
Тема 11. Расчет технико-экономических показателей ПГУ-ТЭС.		1	1	1
Тема 12. Экономические показатели ПГУ-200 Юго-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга.		1	1	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	2
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовой проект)		2,5		33,5
Всего контактная работа и СР по дисциплине		73		71

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): Целью курсового проекта является формирование у

студентов навыков проведения расчетов, позволяющий выбрать оптимальный источник энергоснабжения (с минимальным потреблением топлива) для производства заданного количества электрической и тепловой энергии. В качестве сравниваемых источников рассматриваются ТЭЦ ПТУ, ТЭЦ ГТУ и ТЭЦ ПГУ.

Задачей курсового проекта является научить студентов выбирать источник энергоснабжения, обеспечивающих минимальное потребление топливных ресурсов при заданных электрических и тепловых нагрузках.

4.2 Тематика курсовой работы (проекта): Расчет тепловой схемы утилизационной парогазовой тепловой электростанции.

4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):

Проект выполняется индивидуально, с использованием методических указаний и основной и дополнительной литературы по курсу.

Результаты представляются в виде пояснительной записки, объемом 40-50 стр, содержащей следующие обязательные элементы:

1. Выбор основного оборудования парогазовой тепловой электростанции.
2. Разработка принципиальной тепловой схемы парогазовой электростанции.
3. Расчет тепловой схемы парогазовой тепловой электростанции.
 - 3.1. Расчет газотурбинной установки.
 - 3.2. Укрупненный тепловой расчет котла-утилизатора.
 - 3.3. Определение внутреннего относительного КПД и мощности ПТУ.
4. Определение технико-экономических показателей проектируемой ПГУ.

5. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

5.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения
ПК-2.1	1. Демонстрирует знания основных технико-экономических показателей парогазовых энергетических установок. 2. Рассчитывает расход топлива на выработку отдельных видов энергии. 3. Осуществляет оценку потребности в топливно-энергетических ресурсах, в соответствии с режимами работы энергетических установок.
ПК-4.1	1. Демонстрирует знания особенностей рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии. 2. Рассчитывает эксплуатационные характеристики энергетических установок. 3. Объясняет принципы работы с нормативно-технической документацией.
ПК-5.1	1. Перечисляет методики выполнения расчетов парогазовых установок; конструкции и основные технические показатели оборудования особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках. 2. Формулирует основные принципы теплового расчета парогазовых установок по заданным методикам. 3. Демонстрирует методы построения современных тепловых схем парогазовых установок.

5.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Обучающийся показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; усвоил основную и знаком с дополнительной рекомендованной литературой; может объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала.	Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов работы соответствует требованиям, содержание полностью соответствует заданию. Полученные результаты представлены на основании изучения и анализа изучаемой дисциплины. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы. Работа представлена к защите в требуемые сроки
4 (хорошо)	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в	Работа выполнена в необходимом объеме при отсутствии ошибок, что свидетельствует о самостоятельности при работе с источниками информации. Полученные

	программе задания; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины при дополнительных вопросах преподавателя. Допускает не существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, устраняет их без помощи преподавателя.	результаты связаны с базовыми понятиями в области энергетики. Даны полные ответы на поставленные вопросы, но имеют место несущественные нарушения в оформлении работы или даны нечеткие выводы, или нарушены сроки предоставления работы к защите.
3 (удовлетворительно)	Обучающийся показывает знания основного учебного материала в минимальном объеме, необходимом для дальнейшей учебы; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, допуская при этом большое количество не принципиальных ошибок; знаком с основной литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием.
2 (неудовлетворительно)	Обучающийся не имеет достаточного уровня знания основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с содержанием рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Как правило, оценка "не удовлетворительно" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубые нарушения правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопросы без помощи преподавателя. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания.

5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

5.3.1 Типовые контрольные вопросы

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 2	
1	Классификация газотурбинных установок. Принципиальные тепловые схемы ГТУ открытого и закрытого типа.
2	Цикл Брайтона с подводом теплоты к рабочему телу при постоянном давлении.
3	Характеристики энергетических ГТУ отечественного и зарубежного производства.
4	Котлы-утилизаторы газотурбинных установок.
5	Классификация ПГУ, их преимущества и недостатки.
6	Монарные ПГУ.
7	Утилизационные ПГУ (ПГУ-У).
8	ПГУ со сбросом выхлопных газов в энергетический котел.
9	ПГУ с высоконапорным парогенератором (ПГУ с ВПГ).

10	ПГУ с вытеснением регенерации.
11	Цикл ПГУ с газовым регенеративным подогревателем.
12	Цикл ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-КУ).
13	ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором.
14	ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором.
15	Принципиальная схема одновальной ПГУ, преимущества и недостатки.
Семестр 3	
16	Парогазовые ТЭС с котлами, работающими на бытовых отходах.
17	Энергетические характеристики оборудования ТЭС.
18	Классификация и характеристика режимов работы ТЭС.
19	Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы ГТУ. Статические характеристики ГТУ.
20	Охлаждение деталей газовых турбин. Постановка задачи, способы охлаждения деталей ГТД.
21	Оценка эффективности охлаждения деталей ГТД. Выбор теплоносителя для системы охлаждения.
22	Использование пара для охлаждения деталей газовых турбин.
23	Анализ применения парогазовых технологий в энергетике РФ. Обзор принципиальных схем парогазовых технологий в энергетике РФ.
24	Анализ применения парогазовых технологий в энергетике РФ. Парогазовые технологии в теплофикации.
25	Применение камер сжигания дополнительного топлива в котлах-утилизаторах ПГУ.
26	Горение топлива в обедненной воздушной смеси.
27	Цель расчета тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа.
28	Тепловой расчет котла-утилизатора. Цель, исходные данные, последовательность расчета.
29	Выбор типа паровой турбины. Построение и расчет процесса расширения пара в паровой турбине.
30	Тепловой расчет двухконтурной парогазовой установки. Цель расчета. Исходные данные.
31	Технико-экономические показатели утилизационной ПГУ.

5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

5.3.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Задача №1.

Определить электрическую мощность противодавленческой турбины ТЭЦ, пар из которой поступает в подогреватель технологической воды. Тепловая мощность подогревателя 5 МВт, параметры пара перед турбиной: давление 4,5 МПа, температура 400 оС, давление в выхлопном патрубке турбины 1,2 МПа. Внутренний относительный КПД турбины 0,82, КПД механически 0,96, КПД генератора 0,98.

Задача №2

Определить расход потребляемого топлива на ТЭЦ с противодавленческой турбиной, пар из которой подается в подогреватель технологической воды. Параметры пара перед турбиной 4,5 МПа, температура 400 С, давление в выхлопном патрубке турбины 1,2 МПа. КПД парогенератора 0,9.

5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

5.4.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Возможность пользоваться справочными таблицами, калькулятором;
Время на подготовку ответа 45 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				

Боруш О.В., Григорьева О.К.	Парогазовые установки : учебное пособие	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2016	https://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=367521
В. В. Барановский, Т. Ю. Короткова, Н. С. Тененик	Парогазовые энергетические установки в производстве электрической и тепловой энергии. Расчет тепловой схемы утилизационной парогазовой тепловой электростанции: учеб.-метод. пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2022	http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1665105334.pdf
Григорьева О.К., Боруш О.В.	Теплоэнергетика. Тепловая экономичность паротурбинных энергоблоков: учеб. пособие	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2016	https://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=367494

6.1.2 Дополнительная учебная литература

Н. Н. Гладышев, М. И. Куколев, Г. А. Морозов, И. С. Базулин	Источники тепловой и электрической энергии:: учеб. пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики, С.-Петерб. политехн. ун-т .- Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2022	http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1654647114.pdf
---	--	---	------	---

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. База данных большой технической библиотеки "Сайт теплотехника" [Электронный ресурс]. URL:<http://teplokot.ru/>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска