

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.ДВ.03.01 Теплоэнергетические системы замкнутого цикла

Учебный план: _____ ФГОС3++m130401.24-12_26-12.plx

Кафедра: 24 Промышленной теплоэнергетики

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				
4	УП	24	12	35,75	0,25	2	Зачет
	РПД	24	12	35,75	0,25	2	
Итого	УП	24	12	35,75	0,25	2	
	РПД	24	12	35,75	0,25	2	

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):

Кандидат технических наук, доцент

Рыжиков Владимир
Александрович

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной
теплоэнергетики

Громова Е.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Громова Е.Н.

Методический отдел:

Фахретдинова А. Р.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Формирование у студентов системных знаний и практических навыков по термодинамическому, гидравлическому и технико-экономическому расчету теплоэнергетических систем, работающих по замкнутым циклам, а также развитие компетенций по проектированию энергоэффективных и безопасных замкнутых энергетических контуров.

1.2 Задачи дисциплины:

- Изучить термодинамические основы и классификацию замкнутых циклов (Ренкина с регенерацией, Брайтона с рекуперацией, циклы с промежуточным перегревом и рециркуляцией) применительно к теплообменным установкам;
- Освоить методы расчета параметров замкнутых газотурбинных установок (ЗГТУ) с различными рабочими телами (гелий, азот, воздух, сверхкритический CO₂);
- Рассмотреть принципы построения замкнутых систем охлаждения и водоснабжения ТЭС и АЭС (оборотные системы с градирнями, сухие градирни, конденсаторы смешения);
- Изучить циклы тепловых насосов и термохимических аккумуляторов тепла как элементов замкнутых энергосистем.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-4.1: Готов к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации теплообменных установок
Знать: способы модернизации замкнутых систем с целью повышения надёжности и энергоэффективности
Уметь: разрабатывать предложения по модернизации замкнутой системы с оценкой влияния на надёжность и бесперебойность работы.
Владеть: навыками моделирования нештатных ситуаций и выработки решений по обеспечению бесперебойной работы с использованием резервных схем или режимов.

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. Термодинамические основы и классификация замкнутых теплоэнергетических систем	4				О
Тема 1. Принципы построения и классификация замкнутых термодинамических циклов. Разомкнутые и замкнутые циклы. Цикл Ренкина с регенеративным подогревом питательной воды. Цикл Брайтона с рекуперацией тепла. Циклы с промежуточным перегревом и рециркуляцией рабочего тела. Показатели замкнутости: коэффициент рециркуляции, степень регенерации.		4	2	5,75	
Тема 2. Схемы ГТУ с промежуточным охлаждением, регенерацией, многоступенчатым сжатием. Выбор рабочего тела (гелий, азот, воздух, CO ₂). Компактные рекуперативные теплообменники, промежуточные охладители, газовые подогреватели.		4		8	
Тема 3. Замкнутые системы водоснабжения и охлаждения тепловых и атомных станций. Обратные системы технического водоснабжения (прямоточные, обратные с градирнями, брызгальными бассейнами, прудами-охладителями). Сухие градирни (воздушные конденсаторы). Конденсаторы смешения и поверхностного типа. Замкнутые системы сброса тепла в автономных энергоустановках.		4		8	О
Раздел 2. Проектирование и анализ замкнутых энергетических контуров					
Тема 4. Замкнутые системы с тепловыми насосами и аккумуляторами тепла. Принцип работы теплового насоса (циклы парокомпрессионный, абсорбционный, термоэлектрический). Коэффициент преобразования (COP). Использование низкопотенциального тепла грунта, вентиляционных выбросов в замкнутых системах отопления/охлаждения. Аккумуляторы тепла: явного типа (вода, каменная наброска) и фазового перехода (солевые, парафиновые). Интеграция тепловых насосов с возобновляемыми источниками.		4	2	4	О

Тема 5. Замкнутые ядерные и космические энергоустановки. Ядерные реакторы с газовым охлаждением (высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы ВТГР). Замкнутый газотурбинный цикл (Брайтона) на гелии – реакторная установка «Брайтон». Энергетические установки космических аппаратов: термоэмиссионные и термоэлектрические преобразователи в замкнутом контуре с жидкометаллическим теплоносителем. Вопросы безопасности и герметичности.		4	2	4	
Тема 6. Моделирование и оптимизация замкнутых теплоэнергетических систем. Математические модели установившихся и переходных режимов замкнутых циклов. Эксергетический метод анализа потерь (анализ Грассмана). Оптимизация параметров (давление, температуры, соотношение расходов) по критерию максимума КПД или минимума стоимости.		4	6	6	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		24	12	35,75	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25			
Всего контактная работа и СР по дисциплине		36,25		35,75	

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5 БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ

Использование балльно-рейтинговой системы не предусмотрено.

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

6.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения
ПК-4.1	Ориентируется в способах модернизации замкнутых систем для повышения их надёжности и энергоэффективности. Способен разрабатывать предложения по модернизации замкнутой системы с оценкой влияния на надёжность и бесперебойность работы. Обладает навыками моделирования нештатных ситуаций и выработки решений по обеспечению бесперебойной работы с использованием резервных схем или режимов.

6.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Полный, исчерпывающий ответ, демонстрирующий понимание предмета. Умение применять теоретические знания для решения практических задач.	Выполненное задание полностью соответствует всем предъявляемым требованиям. Оригинальный подход к решению поставленной задачи.
Не зачтено	Ответ неполный. При понимании сущности предмета в целом присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов.	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления.

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

6.3.1 Типовые контрольные вопросы

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 4	
1	Чем отличается замкнутый термодинамический цикл от разомкнутого? Приведите примеры замкнутых циклов в теплоэнергетике.
2	Что такое регенеративный подогрев питательной воды в цикле Ренкина? Как изменяется термический КПД цикла при введении регенерации?
3	Запишите выражение для степени регенерации в цикле Брайтона и поясните её влияние на КПД установки.
4	Какие рабочие тела применяются в замкнутых газотурбинных установках (ЗГТУ) и почему гелий часто предпочтительнее воздуха?
5	Назовите основные элементы рекуперативного теплообменника для ЗГТУ. Какие требования предъявляются к его компактности и гидравлическому сопротивлению?
6	Опишите принцип работы оборотной системы охлаждения с градирней. В чем отличие сухой градирни (воздушного конденсатора) от мокрой?
7	Какие потери воды возникают в замкнутой системе охлаждения и как они компенсируются?
8	Какой физический принцип лежит в основе работы теплового насоса? Запишите формулу для коэффициента преобразования COP в режиме отопления.
9	Назовите не менее двух типов аккумуляторов тепла для замкнутых систем. Приведите примеры материалов с фазовым переходом.
10	Каковы преимущества использования замкнутого цикла Брайтона с гелиевым теплоносителем в высокотемпературном газоохлаждаемом реакторе (ВТГР)?
11	Запишите формулу для расчета КПД цикла Брайтона с регенерацией тепла в зависимости от степени повышения давления и температуры.
12	Какие методы оптимизации применяются для выбора оптимальной степени регенерации в замкнутом цикле?
13	В чем заключается принципиальное различие между регенерацией тепла в цикле Ренкина (подогрев питательной воды паром из отбора турбины) и регенерацией в цикле Брайтона (использование рекуператора газ-газ)?
14	Объясните физический смысл понятия «замкнутая система технического водоснабжения» на примере АЭС. Какие экологические преимущества дает переход с прямоточной системы на оборотную с градирнями, и какие экономические затраты это вызывает?

6.3.2 Типовые тестовые задания

Вопрос 1: Какое изменение в цикле Ренкина позволяет повысить его термический КПД за счет внутренней рециркуляции тепла?

- a) Увеличение давления на выходе из насоса
- b) Отбор части пара из турбины для подогрева питательной воды
- c) Установка конденсатора смешения вместо поверхностного
- d) Замена воды на ртуть в качестве рабочего тела

Вопрос 2: Какие из перечисленных элементов являются обязательными для замкнутой газотурбинной установки (ЗГТУ) с регенерацией тепла?

- a) Компрессор
- b) Камера сгорания (внешний источник тепла)
- c) Рекуперативный теплообменник
- d) Открытый выпуск отработавших газов в атмосферу
- e) Охладитель промежуточный (может отсутствовать, но не обязателен)

6.3.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

6.4.1 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»

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

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

6.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☒ Письменная ☐ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

6.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

На решение тестового задания и подготовку устного ответа отводится 30 минут

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
7.1.1 Основная учебная литература				
Л. М. Бойков	Проблемы энерго-ресурсосбережения в теплоэнергетике и основные направления развития теплоэнергетики: учебное пособие	Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2025	http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1747673344.pdf
Луппов, В. П., Мятаж, Т. В., Сидоркин, Ю. М., Стрельников, Н. А., Шевцов, Д. Е.	Энергосбережение и энергоэффективность в энергетике	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2018	https://www.iprbooks.hop.ru/91501.html
7.1.2 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
Гладышев, Н. Н., Короткова, Т. Ю., Базулин, И. С.	Инновационные технологии использования тепловой и электрической энергии: учеб. пособие	-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. — Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1638454215.pdf
В.А. Суслов [и др.]	Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2015	http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/12.pdf

7.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России [Электронный ресурс]: <https://rosenergo.gov.ru>

7.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft: Windows Professional 10 Russian Upgrade OLPNL AcademicEdition

Microsoft: Office Standard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition

PTC Mathcad 15

7.4 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