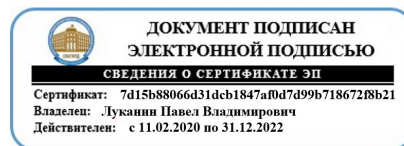


УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.01.02 Спецглавы термодинамики

Учебный план: ФГОС3++zm130401-1_19-13.plx

Кафедра: **21** Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Тепломассообменные процессы и установки
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: заочная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
2	УП	6	6	56	4	2	Зачет
	РПД	6	6	56	4	2	
Итого	УП	6	6	56	4	2	
	РПД	6	6	56	4	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 Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Злобин В.Г.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и
тепловых двигателей

Коновалов П.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин С.Н.

Методический отдел:

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Подготовка специалистов в области термодинамических расчетов и экспериментального исследования теплотехнического оборудования, применяемого на тепловых и атомных электростанциях. Необходимость принимать ответственные самостоятельные инженерные решения, требование критического отношения к литературным расчётным методикам предполагает четкое понимание физических процессов, происходящих в энергетических установках. Описание этих процессов производится математическими методами и моделями, реализованными средствами современной вычислительной техники.

1.2 Задачи дисциплины:

- обеспечение углубленной теплотехнической подготовки, включающей освоение сложных термодинамических систем, применительно к теплотехническому оборудованию, используемому на тепловых и атомных станциях;
- ознакомление с поверхностными явлениями, расчетами метастабильных состояний применительно к кипению, конденсации и истечению пара в соплах в область двухфазных состояний;
- ознакомление с методикой расчёта теплофизических свойств веществ при высоких и сверхвысоких температурах, когда становятся существенна диссоциация молекул;
- ознакомление с методами расчета термодинамических свойств однокомпонентных и многокомпонентных систем; анализ многофазных систем; ознакомление с современными инженерными методиками создания уравнений состояния для технически важных веществ и их смесей;
- учет изменения давления воздуха с высотой над уровнем земли в расчетах теплофизических свойств.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Дисциплина базируется на компетенциях, сформированных на предыдущем уровне образования.

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПКп-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок				
Знать: Первый и второй законы термодинамики применительно к сложным термодинамическим системам с переменной массой; способы расчета термодинамических свойств веществ в метастабильном состоянии; основные способы расчёта химических равновесий и расчёта термодинамических свойств диссоциирующих газов при высоких температурах; способы получения сверхнизких температур и проводить термодинамический анализ циклов холодильных машин, использующих свойство адиабатного размагничивания магнетика; термодинамический анализ обратимых гальванических элементов; основные методы создания уравнений состояния для расчета термодинамических параметров чистых веществ и их смесей для инженерных приложений; основные источники получения информации о термодинамических свойствах рабочих тел и теплоносителей теплотехнических установок.				
Уметь: Анализировать энергетическое оборудование как сложную термодинамическую систему на предмет обобщенных сил, действующих в ней; использовать современные методы расчёта и способы обработки информации о термодинамических свойствах веществ, используемых в тепловой и атомной энергетике; вычислять термодинамические свойства химически реагирующих и диссоциирующих систем, проводить термодинамический анализ метастабильных, гальванических и магнитных систем.				
Владеть: Методами термодинамического анализа сложных термодинамических систем рассматриваемых при проектировании энергетического оборудования тепловых и атомных станций; навыками поиска информации о термодинамических свойствах рабочих тел, хладагентов и теплоносителей теплотехнических установок.				

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Простые и сложные термодинамические системы.	2				

Тема 1. Простые и сложные термодинамические системы. Определения термодинамики. Математический аппарат. Свойства функций состояний. Условия полноты первого дифференциала. Связь между тремя производными неявной функции трех переменных. Частная производная по некоторому (третьему) параметру.	0,5	0,5	6	
Тема 2. Работа в термодинамике. Работа расширения. Работы $dL^* = \xi dX$, отличные от работы изменения объема. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Простая и сложная термодинамические системы. Термодинамические функции: внутренняя энергия U , энтальпия H , энергия Гельмгольца F , энергия Гиббса G , обобщенная энтальпия H^* , обобщенная энергия Гиббса G^* .	0,5		6	
Тема 3. Первый и второй законы термодинамики для простых и сложных термодинамических систем. Термодинамическое тождество. Условия эволюции и равновесия термодинамической системы в зависимости от условий сопряжения с окружающей среды. Характеристические функции, характеристические параметры.	0,5		6	
Тема 4. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал. Термодинамическое тождество при переменном количестве вещества в системе. Производные характеристических функций по массе. Теплоемкость сложной термодинамической системы. Условия фазового равновесия для изолированной сложной термодинамической системы (энергия поверхности раздела фаз равна нулю).	0,5		6	
Раздел 2. Поверхностные явления.				
Тема 5. Поверхностные явления на границе раздела фаз газ – жидкость. Свойства поверхности раздела фаз. Внутреннее давление в жидкости. Поверхностное натяжение σ . Основные термодинамические соотношения для поверхности раздела фаз при изотермических условиях. Термодинамические соотношения для системы с учётом энергии поверхности раздела фаз. Условия фазового равновесия в изолированной системе с учётом свойств поверхности раздела фаз.	0,5	0,5	6	

Тема 6. Фазовое равновесие в изолированной системе. Уравнение Пойнтинга Д.Г. для двух сосуществующих фаз, находящихся при разном давлении. Диаграммы химический потенциал – давление (ϕ , p), химический потенциал – температура (ϕ , T) для двухфазных состояний. Анализ графиков (первая, вторая производные). Однофазные состояния, конденсация, кипения для случаев неравенства давлений фаз.		0,5	0,5	6	
Тема 7. Метастабильность. T , s -; p , v -; p , t - диаграммы для метастабильных состояний (перегретая жид-кость, переохлажденный пар). Достижение метастабильного состояния в изо-барических, изотермических и изоэнтропных процессах (p , t , $s = \text{const}$). Пересыщение пара, перегрев жидкости, переохлаждение пара. Расчёт сопел во влажном паре. h - s - диаграмма для метастабильного состояния. Зона Вильсона. Метастабильное состояние. Спинодаль, бинодаль. Ван-дер-Ваальс. Отрицательные значения давления жидкости – растянутые состояния жидкости.		0,5	0,5	6	
Раздел 3. Газ, жидкость в поле сил тяжести.					
Тема 8. Газ, жидкость в поле сил тяжести. Газ, жидкость в поле сил тяжести (в поле тяготения) – расчетные соотношения. Измерение критического объема. Барометрическая формула для $T=\text{const}$, $T=T_0+b*z$ ($b = -6,5 \text{ K/км}$). Изменение энтальпии с высотой. Градиент температуры в тропосфере. Тропосфера (0-11 км), стратосфера (11-25 км). Изменение температуры кипения жидкости с высотой.		1,5	1	7	
Тема 9. Фазовое равновесие для многокомпонентной системы. Идеальный раствор. Интегральная и парциальная теплота смешения. Избыточная энтальпия компонентов раствора. Условие фазового равновесия для многокомпонентной системы. Уравнение Гиббса.		1	3	7	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		6	6	56	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25			
Всего контактная работа и СР по дисциплине		12,25		56	

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПКп-5.1	1. Имеет представление о сложных термодинамических системах, поверхностных явлениях и методах расчета различных процессов. 2. Объясняет полученные данные в ходе расчетов метастабильных состояний, расчета термодинамических свойств однокомпонентных и многокомпонентных систем. 3. Осуществляет анализ сложных термодинамических систем рассматриваемых при проектировании энергетического оборудования.	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания.

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в 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 вопросы, устраняет их без помощи преподавателя.	Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.
Не зачтено	Обучающийся обнаруживает пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с 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. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания.

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 2	
1	Связь между тремя производными неявной функции трех переменных. Частная производная по некоторому (третьему) параметру.
2	Работа расширения. Работы $dL^* = \xi dX$, отличные от работы изменения объема. Обобщенные силы и обобщенные координаты.
3	Простая и сложная термодинамические системы.
4	Термодинамические функции: внутренняя энергия U , энтальпия H , энергия Гельмгольца F , энергия Гиббса G , обобщенная энтальпия H^* , обобщенная энергия Гиббса G^* .
5	Первый и второй законы термодинамики для простых и сложных термодинамических систем.
6	Термодинамическое тождество.
7	Условия эволюции и равновесия термодинамической системы в зависимости от условий сопряжения с окружающей среды.
8	Характеристические функции, характеристические параметры.
9	Химический потенциал. Термодинамическое тождество при переменном количестве вещества в системе. Производные характеристических функций по массе.
10	Теплоемкость сложной термодинамической системы.
11	Условия фазового равновесия для изолированной сложной термодинамической системы (энергия поверхности раздела фаз равна нулю).
12	Свойства поверхности раздела фаз. Внутреннее давление в жидкости. Поверхностное натяжение σ .
13	Основные термодинамические соотношения для поверхности раздела фаз при изотермических условиях.

14	Термодинамические соотношения для системы с учётом энергии поверхности раздела фаз.
15	Условия фазового равновесия в изолированной системе с учётом свойств поверхности раздела фаз.
16	Уравнение Пойнтинга Д.Г. для двух сосуществующих фаз, находящихся при разном давлении.
17	Диаграммы химический потенциал – давление (ϕ , p), химический потенциал – температура (ϕ , T) для двухфазных состояний. Анализ графиков (первая, вторая производные).
18	Однофазные состояния, конденсация, кипения для случаев неравенства давлений фаз.
19	T , s -, p , v -, p , t - диаграммы для метастабильных состояний (перегретая жидкость, переохлажденный пар).
20	Достижение метастабильного состояния в изобарических, изотермических и изоэнтропных процессах (p , t , $s = \text{const}$).
21	Пересыщение пара, перегрев жидкости, переохлаждение пара.
22	Расчёт сопел во влажном паре. h - s - диаграмма для метастабильного состояния.
23	Зона Вильсона. Метастабильное состояние. Спинодаль, бинадаль. Ван-дер-Ваальс.
24	Отрицательные значения давления жидкости – растянутые состояния жидкости.
25	Газ, жидкость в поле сил тяжести (в поле тяготения) – расчетные соотношения. Измерение критического объема.
26	Изменение энтальпии с высотой. Градиент температуры в тропосфере. Изменение температуры кипения жидкости с высотой.
27	Фазовое равновесие для многокомпонентной системы.
28	Идеальный раствор. Интегральная и парциальная теплота смешения. Избыточная энтальпия компонентов раствора.
29	Условие фазового равновесия для многокомпонентной системы. Уравнение Гиббса.

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Задача 1. Показать на примере, что среднеарифметическая температура рабочего тела всегда больше, чем среднеинтегральная температура при одинаковых условиях. Определить среднеарифметическую и среднеинтегральную температуры в термодинамическом процессе, если начальная температура $T_1=600$ К, а конечная $T_2=2200$ К.

Задача 2. При температуре 20°C определить минимальную теоретическую работу разделения 1 кг газовой смеси, состоящей из 30 об. ч. двуокиси углерода и 70 об. ч. азота. Газы считать идеальными.

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 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»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☒ Письменная ☒ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестра выполняется контрольная работа.

Возможность пользоваться справочными таблицами, калькулятором;

Время на подготовку ответа 30 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
Амирханов Д. Г., Амирханов Р. Д., Шевченко Е. И.	Техническая термодинамика	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2014	http://www.iprbookshop.ru/63486.html
6.1.2 Дополнительная учебная литература				

В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова	Техническая термодинамика [Текст]. Ч.1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf
В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова	Техническая термодинамика [Текст]. Ч.2. Водяной пар. Циклы теплосиловых установок: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.pdf
Скаков С. В.	Техническая термодинамика	Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ	2014	http://www.iprbookshop.ru/55663.html
Губарев В. Я., Арзамасцев А. Г.	Техническая термодинамика	Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ	2014	http://www.iprbookshop.ru/55163.html

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

MicrosoftOfficeProfessional 2013

MicrosoftWindows 8

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

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