

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплотехника и малая распределенная энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СПЕЦГЛАВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.04</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>2 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 93,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>2 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Милютин В.А.
	Идентификатор	R2a4a9cc2-MiliutinVA-776b5a5a

В.А. Милютин

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В. Шацких

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В. Шацких

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение законов сохранения и превращения энергии применительно к сложным термодинамическим системам; подготовка специалистов в области термодинамических расчетов и экспериментального исследования теплотехнического оборудования, применяемого на тепловых и атомных электростанциях..

### Задачи дисциплины

- освоение применения основных законов термодинамики к процессам, протекающим в сложных термодинамических системах; условиями эволюции подобных систем их равновесного состояния;;
- освоение методики расчета процессов, происходящих при фазовых переходах, в том числе и в метастабильном состоянии;;
- изучение альтернативных современным ТЭС способов получения электроэнергии при химических превращениях, анализ эффективности работы таких схем;;
- освоение методов расчета термодинамических свойств смесей, а также химически реагирующих газов;
- освоение методов расчета термодинамических процессов в термодинамических циклах холодильных машин, в которых используются магнетики;
- ознакомление со способами расчета фазовых равновесий многокомпонентных систем;
- ознакомление с современными математическими методами моделирования и расчета термодинамических свойств веществ;
- приобретение навыков критического мышления при анализе литературных методов расчета теплофизических свойств веществ.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания теплогидравлических и термодинамических процессов в объектах профессиональной деятельности	знать: - Термодинамический анализ химически реагирующих систем, обратимых гальванических элементов, магнитных систем; способы получения сверхнизких температур;; - Основные методы создания уравнений состояния для расчета термодинамических параметров чистых веществ и их смесей для инженерных приложений; анализ термодинамических систем в метастабильном состоянии, в поле тяжести; - Математический аппарат для сложных термодинамических систем;;  уметь: - Рассчитывать термодинамических свойств сложных термодинамических систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплотехника и малая распределенная энергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать – Дифференциальное и интегральное исчисление; – дифференциальные уравнения; – функции нескольких переменных и теорию неявных функций; – экстремумы функции одной и нескольких переменных; – численные методы; – техническую термодинамику; – общую физику; – магнитные свойства вещества (магнитное поле в веществе); – физические основы фазовых переходов; – основы химии

- уметь – пользоваться математическими методами для решения прикладных задач; – использовать физические методы решения технических задач; – использовать современные компьютерные математические среды для решения инженерных задач

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Простые и сложные термодинамические системы	9	2	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Простые и сложные термодинамические системы"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Самостоятельное изучения теории по разделу "Простые и сложные термодинамические системы"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материалов по разделу "Простые и сложные термодинамические системы", подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу "Простые и сложные термодинамические системы" и подготовка к контрольной работе №1 "Характеристические функции. Расчет термодинамических функций." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 9 -42 [11], 11 - 102</p>
1.1	Простые и сложные термодинамические системы	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
2	Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы	49		9	-	5	-	-	-	-	-	-	35	

2.1	Идеальный газ	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<p><b><u>теоретического материала:</u></b>  Самостоятельное изучения теории по разделу "Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы"  <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>  Изучение материалов по разделу "Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы" и подготовка к контрольной работе №2 "Расчет термодинамических свойств и констант равновесия смесей идеальных газов"  <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b>  Изучение материала по разделу "Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях. 1) Расчет термодинамических свойств идеально-газовых смесей. 2) Расчет параметров химически реагирующих термодинамических систем. 3) Расчет термодинамических характеристик обратимых гальванических элементов  <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. Расчетное задание "Расчет термодинамических параметров (степень диссоциации, молярные концентрации исходного веществ и продуктов диссоциации, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, тепловой эффект реакции) диссоциирующих газов при высоких температурах."  <b><u>Изучение материалов литературных</u></b></p>
2.2	Химическая термодинамика	40	5	-	3	-	-	-	-	-	32	-	
2.3	Гальванические элементы	5	3	-	1	-	-	-	-	-	1	-	

													<p><b><u>источников:</u></b></p> <p>[2], 241 -253  [3], 35 -77; 251- 259  [4], 15 -102  [6], 7 -40  [7], 39 - 76; 359 - 495  [9], Все 4-е тома 2-х книг  [10], Все 4-е тома 2-х книг  [15], 14 - 146  [16], 35 -77; 251- 259  [18], 46 - 85</p>	
3	Поверхностные явления. Магнетики	27	12	-	5	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>  Повторение материала по разделу "Поверхностные явления. Магнетики"</p>
3.1	Поверхностные явления	14	7	-	3	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b>  Самостоятельное изучения теории по разделу "Поверхностные явления. Магнетики"</p>
3.2	Магнетики	13	5	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>  Изучение материалов по разделу "Поверхностные явления. Магнетики" и подготовка к контрольной работе №3 "Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести".</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b>  Изучение материала по разделу "Поверхностные явления. Магнетики" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях. 1) Расчет термодинамических характеристик переохлажденного пара. 2) Расчет термодинамических характеристик перегретой жидкости. 3) Термодинамические свойства магнетиков. 4) Способы получения сверхнизких температур.</p>

													<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 457 – 474, 211 - 214 [2], 149 – 159, 162 -177, 46 – 87 [5], 16 - 45 [12], 41 - 74 [13], 87 - 93 [14], 15 -40 [17], 457 – 474, 211 - 214
4	Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести	23	7	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести"
4.1	Уравнения состояния	21	6	-	3	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Самостоятельное изучения теории по разделу "Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести"
4.2	Газ, жидкость в поле сил тяжести	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу "Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести" и подготовка к контрольной работе №3 "Уравнения состояния веществ" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 177 – 194 [2], . 178 -184, 190 -196 [8], 23 - 97 [17], 177 – 194 [19], 143 - 151; 854 - 858
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	16		2		-	0.5		93.5	



**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Простые и сложные термодинамические системы

##### 1.1. 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. Работа в термодинамике. Работа расширения. Работы  $dL^* = \xi \cdot dX$ , 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  $G^*$ . 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. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал. Термодинамическое тождество при переменном количестве вещества в системе. Производные характеристических функций по массе. Теплоемкость сложной термодинамической системы. Условие фазового равновесия для изолированной сложной термодинамической системы (энергия поверхности раздела фаз равна нулю)..

#### 2. Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы

##### 2.1. Идеальный газ

Многокомпонентные системы, мольные и массовые концентрации. Идеально-газовые смеси. Уравнение Дальтона, Амага. Термодинамические свойства идеального газа. Термодинамические функции идеально-газовых смесей..

##### 2.2. Химическая термодинамика

Первый и второй законы термодинамики применительно к химической термодинамике. Тепловой эффект химической реакции. Тепловые эффекты изохоро-изотермических и изобаро-изотермических реакций. Экзотермические, эндотермические реакции, знак теплоты в химической термодинамике. Уравнение реакции (стехиометрические коэффициенты, химические формулы веществ). Закон Гесса. 5 следствий закона Гесса. Применение справочника Глушко для расчетов в химической термодинамике. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Уравнение Кирхгофа. Соотношение между изохоро-изотермическим и изобаро-изотермическим тепловыми эффектами реакции при разных температурах. Условие химического равновесия. Уравнение Гиббса – Дюгема для химической реакции. Уравнение баланса массы. Химический потенциал для идеального газа, однокомпонентная и многокомпонентные системы. Летучесть (фугитивность) для чистого вещества и компонента раствора, коэффициент летучести. Активность для чистого вещества и компонента раствора. Химическое равновесие изохоро-изотермических и изобаро-изотермических реакций. Константы химического равновесия для идеального и реального газов [ $K(T)$ ,  $K_p(T)$ ,  $K_C(T)$ ,  $K_x(p,T)$ ,  $K_\gamma(p,T)$ ]. Закон действующих масс. Закон зависимости константы равновесия от температуры для идеального газа. Уравнения Вант-Гоффа. Зависимость выхода продуктов реакции от параметров – температуры, давления, влияние инертных газов. Диссоциация молекул. Степень диссоциации. Формула константы равновесия для диссоциации сложной молекулы на простые молекулы через константы равновесия диссоциации простых молекул на элементы (атомы). Термодинамические соотношения для диссоциации типа  $A_2 = 2 \cdot A_1$  (степень диссоциации, мольная концентрация

исходных веществ и продуктов реакции, парциальные давления, константы равновесия, удельные объемы, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, тепловой эффект реакции).

### 2.3. Гальванические элементы

Обратимые гальванические элементы (гальванический элемент Даниэля) и необратимые (гальванический элемент Вольта). Нормальный элемент Винстона. Принцип действия гальванического элемента на примере элемента Даниэля. Двойной электрический слой. I и II законы Фарадея (1834 г.), электрохимический эквивалент вещества, постоянная Фарадея  $F$ . Работа гальванического элемента, удельное и мольное значение этой величины. Уравнения Гельмгольца - Гиббса для простой и сложной систем. Уравнение Гельмгольца – Гиббса в форме для  $L^*$  (работы гальванического элемента). Электро – химический эксперимент для определения теплового эффекта реакции. Основные термодинамические соотношения для гальванических элементов. Изохоро – изотермическая и изобаро – изотермическая системы. Анализ эффективности топливных элементов. Зависимость КПД топливного элемента от знака производной ЭДС топливного элемента по температуре.

## 3. Поверхностные явления. Магнетики

### 3.1. Поверхностные явления

Поверхностные явления на границе раздела фаз газ – жидкость. Свойства поверхности раздела фаз. Внутреннее давление в жидкости. Поверхностное натяжение  $\sigma$ . 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. Фазовое равновесие в изолированной системе при неодинаковом давлении фаз. Уравнение Пойнтинга Д.Г. для двух сосуществующих фаз, находящихся при разном давлении. Диаграммы химический потенциал – давление ( $\phi$ ,  $p$ ), химический потенциал – температура ( $\phi$ ,  $T$ ) для двухфазных состояний. Анализ графиков (первая, вторая производные). Однофазные состояния, конденсация, кипения для случаев неравенства давлений фаз. Фазовое равновесие в изолированной термодинамической системе с искривлённой поверхности раздела фаз. Уравнение Лапласа (Лаплас Пьер- Симон) для сферической капли (пузырька). Уравнение Пойнтинга Д.Г. применительно к уравнению Лапласа. Смачивание. Силы, действующие на молекулу в поверхностном слое. Краевой угол. Уравнение Юнга для определения краевого угла (1804г.). Капиллярность. Высота подъема (опускания) жидкости в цилиндрическом капилляре. Конденсация. Критический радиус капли  $R_{кр}$  (зародыша конденсации). Условие роста капли. Степень пресыщения пара, степень переохлаждения. Формула для критического радиуса капли  $R_{кр}$  от давления (пересыщения) пара. Кипение. Критический радиус пузырька  $R_{кр}$  (зародыша парообразования). Формула Томпсона, для критического радиуса пузырька  $R_{кр}$  от величины перегрева жидкости. Метастабильность.  $T$ ,  $s$ -;  $p$ ,  $v$ -;  $p$ ,  $t$ - диаграммы для метастабильных состояний (перегретая жидкость, переохлажденный пар). Достижение метастабильного состояния в изобарических, 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.

### 3.2. Магнетики

Магнетики. Физические величины, описывающие магнитные явления. Вещество в магнитном поле. Природа возникновения собственного магнитного поля в веществе. Прецессия векторов орбитальных магнитных моментов электронов, собственный

орбитальный магнитный момент атома, спиновый магнитный момент электрона. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Температурная зависимость удельной магнитной восприимчивости  $\chi$  от температуры. Графики намагниченность – напряженность ( $J - H_m$ ); магнитная индукция – напряженность ( $B - H_m$ ); магнитная восприимчивость – напряженность ( $\chi - H_m$ ); магнитная восприимчивость – температура ( $\chi - T$ ) для диа, пара, ферромагнетиков. Формулы Кюри (идеальный парамагнетик) и Кюри – Вейса для парамагнетиков. Температура Кюри для ферромагнетиков. Коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, гистерезис. Термодинамические соотношения для магнетиков. Работа, совершаемая магнитным полем при увеличении намагниченности магнетика. Зависимость внутренней энергии  $u$  (изохоро – изотермическая система) и обобщенная энтальпия  $h^*$  (изобаро – изотермическая система) от магнитного поля. Соотношения для диамагнетиков и парамагнетиков. Теплоемкость магнетиков. Соотношение для изобарной теплоемкости  $c_{p,H_m} - c_{p,j}$ . Диамагнетики, идеальные парамагнетики. Зависимость теплоемкости магнетика  $(\partial c_{p,H_m} / \partial H_m)_{p,T}$  от параметров поля. Диамагнетики, парамагнетики. Интеграл выражения  $c_{p,H_m}(p,T,H_m) - c_p(p,T)$  по дифференциалу напряженности в изобаро – изотермических условиях. Интеграл  $c_{p,j}(p,T,H_m) - c_p(p,T)$  по дифференциалу удельной намагниченности в изобаро – изотермических условиях. Изотермический процесс в магнетиках. Изменение энтропии. Тепло и работа в процессе. Диамагнетики. Парамагнетики. Процесс  $H_m = \text{const}$  в магнетике.  $T-s$  диаграмма для парамагнетиков. Магнитокалорический эффект в парамагнетике. Адиабатный процесс  $(\partial T / \partial H_m)_{p,s}$ . Адиабатное размагничивание. Оценка температуры, достигнутой при размагничивании образца. Достижение  $T = 0,001 \text{ K}$  с помощью этого эффекта. Экспериментальные установки с одноступенчатым и двухступенчатым размагничиванием. Цикл холодильной машины, использующей адиабатное размагничивание.

#### 4. Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести

##### 4.1. Уравнения состояния

Уравнения состояния для чистых веществ: Вириальное УС. Потенциал Леннарда – Джонса  $u = 4 \cdot \epsilon \cdot [(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6]$ . Кубические уравнения состояния. Ван-дер-Ваальсовское уравнение состояния  $(p + 3/a \cdot \omega^{-2})(3\omega - 1) = 8\tau$ . Уравнение состояния Редлиха- Квонга  $(p + a/v/(v+b)/T^{1/2})(v-b) = RT$ . Уравнение состояния Ли- Кеслера. Принцип соответственных состояний. Приведенные параметры. Безразмерные комбинации параметров. Многопараметрическое уравнение соответственного состояния. Преобразования подобия. Термодинамическое подобие. Нормальные (неассоциированные) жидкости. Однопараметрическое уравнение соответственного состояния. Ацентрический фактор Питцера  $\omega_p = \lg(\pi_s(t)) - 1$  для  $\tau = 0,7$ . Уравнения состояния для газовых смесей. Мольные и массовые доли (концентрации). Идеальный газ. Уравнения Дальтона, Амага. Калорические свойства, энтропия. Графики зависимости величин бинарной системы от концентрации. Вириальное уравнение состояния  $(\epsilon_{12} = (\epsilon_1 \cdot \epsilon_2)^{1/2}; \sigma_{12} = (\sigma_1 + \sigma_2)/2)$ . Правила комбинирования. Уравнение Редлиха- Квонга для смесей. Теория подобия для смесей. Принцип соответственных состояний для смесей. Псевдокритические параметры смеси. Параметр ацентричности (Питцера). Уравнение Ли- Кеслера. Парциальные величины. Однородная функция  $m$ - степени. Теорема Эйлера. Уравнение Гиббса – Дюгема. Графическая интерпретация парциальной величины, метод отрезков. Идеальный раствор. Выполнение закона Амага для него. Закон Рауля. Энтальпия смеси. Интегральная (мольная) теплота смешения, избыточная энтальпия, энтальпия образования раствора. Парциальная (мольная) теплота смешения, дифференциальная теплота смешения, избыточная энтальпия компонента раствора. Метод отрезков. Условие фазового равновесия для многокомпонентной системы. Уравнение Гиббса.

#### 4.2. Газ, жидкость в поле сил тяжести

Газ, жидкость в поле сил тяжести (в поле тяготения) – расчетные соотношения. Измерение критического объема. Барометрическая формула для  $T=\text{const}$ ,  $T=T_0+b\cdot z$  ( $b = -6,5$  К/км). Изменение энтальпии с высотой. Градиент температуры в тропосфере. Тропосфера (0-11 км), стратосфера (11-25 км). Изменение температуры кипения жидкости с высотой..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Расчет температуры кипения жидкости от высоты над уровнем земли в пределах стратосферы.;
2. Расчет термодинамических свойств чистых компонентов и смесей по кубическим уравнениям состояния.;
3. Расчет степени диссоциации, мольной концентрации исходных веществ и продуктов реакции для реакции диссоциации молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  на  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$  для заданной температуры.;
4. Идеально-газовые смеси, расчет термодинамических свойств идеального газа (1 час).;
5. Характеристические функции, характеристические параметры.;
6. Расчет теплового эффекта реакции по электрическим свойствам гальванического элемента. Определение термодинамических свойств гальванического элемента по его электрическим параметрам и наоборот.;
7. Определение эффективности холодильного цикла с использованием адиабатного размагничивания парамагнетика.;
8. Поверхностные явления. Расчеты тепловых эффектов изменения свободной поверхности системы. Определение различия в давлении фаз, находящихся в равновесии, при искривлении межфазной поверхности. Определение пересыщения пара (перегрева жидкости) для получения вероятностного значения критического радиуса сферической капли – зародыша конденсации (сферического пузыря – зародыша кипения).;
9. Расчет теплового эффекта реакции при стандартной температуре ( $25^\circ\text{C}$ ). Соотношение между тепловыми эффектами изобаро – изотермической и изохоро – изотермической реакциями. Вычисление теплового эффекта реакции при любой температуре. Определение констант равновесия химической реакции..

### 3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Простые и сложные термодинамические системы"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Поверхностные явления. Магнетики"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
Математический аппарат для сложных термодинамических систем;	ИД-1ПК-1	+				Контрольная работа/"Характеристические функции. Расчет термодинамических функций."
Основные методы создания уравнений состояния для расчета термодинамических параметров чистых веществ и их смесей для инженерных приложений; анализ термодинамических систем в метастабильном состоянии, в поле тяжести	ИД-1ПК-1				+	Контрольная работа/«Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести»
Термодинамический анализ химически реагирующих систем, обратимых гальванических элементов, магнитных систем; способы получения сверхнизких температур;	ИД-1ПК-1		+			Контрольная работа/«Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести»  Расчетно-графическая работа/"Расчет термодинамических параметров диссоциирующих газов при высоких температурах"  Контрольная работа/"Расчет термодинамических свойств и констант равновесия смесей идеальных газов"
<b>Уметь:</b>						
Рассчитывать термодинамических свойств сложных термодинамических систем	ИД-1ПК-1			+		Контрольная работа/«Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести»

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **2 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. "Расчет термодинамических свойств и констант равновесия смесей идеальных газов" (Контрольная работа)
2. "Характеристические функции. Расчет термодинамических функций." (Контрольная работа)
3. «Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести» (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. "Расчет термодинамических параметров диссоциирующих газов при высоких температурах" (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №2)

Итоговая оценка складывается:  $0,6 \cdot \text{Балл текущего контроля} + 0,4 \cdot \text{балл промежуточного контроля}$

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017. – 502 с. – ISBN 978-5-383-00939-0.;
2. Сычев, В. В. Сложные термодинамические системы / В. В. Сычев. – 5-е изд., доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 296 с. – ISBN 978-5-383-00418-0.;
3. Бажин, Н. М. Термодинамика для химиков : учебник для вузов по специальности "Химия" / Н. М. Бажин, В. А. Иванченко, В. Н. Пармон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 2004. – 416 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). – ISBN 5-9819005-7-X.;
4. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н. В. Коровин. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 280 с. – ISBN 5-7046-1185-0.;
5. Скрипов, В. П. Метастабильная жидкость / В. П. Скрипов. – М. : Наука, 1972. – 312 с.;
6. Кириллин, В. А. Термодинамика растворов / В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин, Э. Э. Шпильрайн. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1980. – 288 с.;



7. Карапетьянц, М. Х. Химическая термодинамика : учебное пособие для химических специальностей вузов / М. Х. Карапетьянц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1975. – 584 с.;
8. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей : (определение и корреляция) : пер. с англ. / Р. Рид, Т. Шервуд ; Переводчик Б. И. Соколов, Е. И. Нортман. – Л. : Химия, 1971. – 702 с.;
9. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. В 4-х т. Т.1. "Элементы О, Н (D), Т), F, Cl, Br, I, Ne, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, S, N, P и их соединения" Кн.2. Таблицы термодинамических свойств : справочное издание / Л. В. Гурвич, [и др.], Акад. наук СССР. Ин-т высоких температур, Гос. ин-т. прикладной химии ; отв. ред. В. П. Глушко. – 3-е изд., перераб. и расширен. – М. : Наука, 1978. – 328 с.;
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. В 4-х т. Т.2. "Элементы С, Si, Ge, Sn, Pb и их соединения" Кн.2. Таблицы термодинамических свойств : справочное издание / Л. В. Гурвич, [и др.], Акад. наук СССР. Ин-т высоких температур, Гос. ин-т. прикладной химии ; отв. ред. В. П. Глушко. – 3-е изд., перераб. и расширен. – М. : Наука, 1979. – 344 с.;
11. Задачи по химической термодинамике : Учебное пособие для вузов по специальности 011000 "Химия" / В. С. Музыкантов, и др. – 2-е изд., испр. – М. : Химия, 2004. – 120 с. – ISBN 5-9810900-2-2.;
12. Сумм, Б. Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. – М. : Химия, 1976. – 231 с.;
13. Оно, С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях : пер. с англ. / С. Оно, С. Кондо. – М. : Изд-во иностранной лит., 1963. – 291 с.;
14. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии / В. П. Скрипов, и др. – М. : Атомиздат, 1980. – 208 с.;
15. Карапетьянц, М. Х. Примеры и задачи по химической термодинамике : учебное пособие для химико-технологических специальностей дневных, вечерних и заочных факультетов вузов / М. Х. Карапетьянц. – 3-е изд. – М. : Росвузиздат, 1963. – 326 с.;
16. Бажин, Н. М. Термодинамика для химиков : учебник / Н. М. Бажин, В. Н. Пармон. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 612 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3917-1.;
17. Кириллин В.А. , Сычев В.В. , Шейндлин А.Е. - "Техническая термодинамика", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (496 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72305](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72305);
18. Бажин Н. М., Пармон В. Н.- "Термодинамика для химиков", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (612 с.) <https://e.lanbook.com/book/121454>;
19. Гиршфельдер, Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. – М. : Изд-во иностранной лит., 1961. – 929 с..

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. SmathStudio.

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>

6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>  
 7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>  
 8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>  
 9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-407, Учебная аудитория "А"	парта, парта со скамьей, стеллаж, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, доска меловая, доска магнитная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-407, Учебная аудитория "А"	парта, парта со скамьей, стеллаж, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, доска меловая, доска магнитная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-407, Учебная аудитория "А"	парта, парта со скамьей, стеллаж, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, доска меловая, доска магнитная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-209/7, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Спецглавы термодинамики

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 "Характеристические функции. Расчет термодинамических функций." (Контрольная работа)
- КМ-2 "Расчет термодинамических свойств и констант равновесия смесей идеальных газов" (Контрольная работа)
- КМ-3 "Расчет термодинамических параметров диссоциирующих газов при высоких температурах" (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 «Обратимые гальванические элементы и магнитные системы. Поверхностные явления. Уравнения состояния и термодинамические свойства веществ в поле силы тяжести» (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Простые и сложные термодинамические системы					
1.1	Простые и сложные термодинамические системы		+			
2	Идеальный газ. Химическая термодинамика. Гальванические элементы					
2.1	Идеальный газ			+	+	+
2.2	Химическая термодинамика			+	+	+
2.3	Гальванические элементы			+	+	+
3	Поверхностные явления. Магнетики					
3.1	Поверхностные явления					+
3.2	Магнетики					+
4	Уравнения состояния. Газ, жидкость в поле сил тяжести					
4.1	Уравнения состояния					+
4.2	Газ, жидкость в поле сил тяжести					+
Вес КМ, %:			20	20	35	25

