

№ 2307

Г.В. Серов
Е.Н. Сидорова

Физические основы производства

Термодинамические расчеты
высокотемпературных систем и процессов,
фазовые превращения

Практикум

№ 2307

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных
материалов

Г.В. Серов

Е.Н. Сидорова

Физические основы производства

Термодинамические расчеты
высокотемпературных систем и процессов,
фазовые превращения

Практикум

Рекомендовано редакционно-издательским
советом университета



Москва 2016

УДК 669.04.997
С32

Рецензент
д-р техн. наук, проф. *С.Н. Падерин*

Серов Г.В.

С32 Физические основы производства. Термодинамические расчеты высокотемпературных систем и процессов, фазовые превращения : практикум / Г.В. Серов, Е.Н. Сидорова – М. : Изд. Дом МИСиС, 2016. – 83 с.
ISBN 978-5-87623-855-9

Кратко изложена теория и представлены задачи с примерами решения, использующие законы и представления молекулярной физики и термодинамики. Задачи имеют прикладной характер. Приведены расчеты состава и свойств газовых атмосфер, низкотемпературной плазмы, диссоциации и оценки прочности соединений, расчеты восстановительных процессов. Рассмотрены фазовые равновесия и превращения с использованием фазовых диаграмм.

Предназначен для студентов бакалавриата, обучающихся по направлениям 38.03.01, 38.03.02, 38.03.05. Может быть полезен студентам направлений 22.03.01 и 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

УДК 669.04.997

ISBN 978-5-87623-855-9

© Г.В. Серов,
Е.Н. Сидорова, 2016
© НИТУ «МИСиС», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Физические величины. Их размерности и обозначения	5
2. Сведения из термодинамики	12
2.1. Основные понятия и определения	12
2.2. Первый закон термодинамики	13
2.3. Термохимия	15
2.4. Второй закон термодинамики. Энтропия	16
2.5. Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца	17
3. Состав и свойства газовой фазы	20
3.1. Идеальный газ	20
3.2. Уравнение состояния идеального газа	21
3.3. Реальные газы	23
3.4. Закон Дальтона	24
3.5. Реакции горения газов. Окислительно-восстановительные свойства газовой фазы	25
3.5.1. Теоретическое введение	25
3.5.2. Примеры решения задач	30
3.5.3. Задачи для самостоятельного решения	32
3.6. Состав и свойства газовой фазы в присутствии углерода	33
3.6.1. Теоретическое введение	33
3.6.2. Примеры решения задач	34
3.6.3. Задачи для самостоятельного решения	36
3.7. Оценка равновесных концентраций компонентов низкотемпературной плазмы	37
3.7.1. Теоретическое введение	37
3.7.2. Примеры решения задач	40
3.7.3. Задачи для самостоятельного решения	41
4. Закономерности образования и диссоциации соединений. Количественные характеристики прочности оксидов	43
4.1. Теоретическое введение	43
4.2. Примеры решения задач	47
4.3. Задачи для самостоятельного решения	50
5. Восстановительные процессы	52
5.1. Термодинамические основы процессов	52
5.2. Металлотермическое восстановление	52
5.3. Углетермическое восстановление	53
5.4. Восстановление металлов газами	54
5.5. Примеры решения задач	55

5.6. Задачи для самостоятельного решения	58
6. Фазовые равновесия и превращения.....	60
6.1. Правило фаз Гиббса.....	60
6.2. Фазовые превращения.....	60
6.3. Однокомпонентные фазовые диаграммы.....	62
6.4. Фазовые диаграммы двухкомпонентных систем.....	64
6.4.1. Фазовая диаграмма для систем с неограниченной растворимостью в жидком состоянии и отсутствием растворимости в твердом (первый тип).....	65
6.4.2. Фазовая диаграмма для систем с прочным химическим соединением (второй тип).....	68
6.4.3. Фазовая диаграмма для систем с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях (третий тип).....	69
6.5. Задачи для самостоятельного решения	70
6.6. Фазовая диаграмма Fe–O	75
Библиографический список	80
Приложение. Изменение энергии Гиббса в реакциях образования оксидов из компонентов в стандартных состояниях.....	81

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ИХ РАЗМЕРНОСТИ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Основные единицы физических величин

В Международной системе единиц (СИ) в качестве основных вы-
браны семь единиц, приведенных в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные единицы физических величин системы СИ

Величина, размерность	Единица	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
Длина L	метр	м	m
Масса M	килограмм	кг	kg
Время T	секунда	с	s
Сила электрического тока I	ампер	А	A
Термодинамическая температура Θ	кельвин	К	K
Количество вещества N	моль	моль	mol
Сила света J	кандела	кд	cd

Кратные и дольные единицы

Кратные единицы – единицы, в целое число раз превышающие системные или внесистемные единицы.

Дольные единицы в целое число раз меньше системной или вне-
системной единицы.

Наиболее удобны для применения десятичные кратные и дольные единицы. Наименования десятичных кратных и дольных единиц образуются присоединением приставок, представленных в табл. 1.2, к наименованиям исходных единиц.

Таблица 1.2

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Кратность и дольность	Приставка	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
10^{15}	пэта	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da

10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санти	с	c
10^{-3}	милли	м	m
10^{-6}	микро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	пико	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f

Производные единицы

В Международной системе из основных и дополнительных единиц при помощи определенных уравнений образуются *производные единицы*. В табл. 1.3 приведены производные механических и физических величин, употребляемые в расчетах настоящей дисциплины.

Таблица 1.3

Примеры производных единиц системы СИ

Величина	Размерность	Определяющее уравнение	Производная единица		
			Наименование	Обозначение	
				русское	международное
Площадь	L^2	$S = a^2$	квадратный метр	m^2	m^2
Объем	L^3	$V = a^3$	кубический метр	m^3	m^3
Скорость	LT^{-1}	$V = S / t$	метр в секунду	м/с	m/s
Ускорение	LT^{-2}	$a = dV / dt$	метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
Плотность	$L^{-3}M$	$\rho = m / V$	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
Вязкость динамическая	$L^{-1}MT^{-1}$	$\eta = \frac{F}{dV / dt \Delta S}$	паскаль-секунда	Па·с	Pa·s
Вязкость кинематическая	L^2T^{-1}	$\nu = \eta / \rho$	квадратный метр на секунду	м ² /с	m ² /s
Молярная масса	MN^{-1}	$M = m / n$	килограмм на моль	кг/моль	kg/mol
Коэффициент диффузии	L^2T^{-1}	$D = - \frac{m}{dp / dx \cdot S \cdot t}$	квадратный метр в секунду	м ² /с	m ² /s
Молярный объем	L^3N^{-1}	$V_m = V / \nu$	кубический метр на моль	м ³ /моль	m ³ /mol

Величина	Размерность	Определяющее уравнение	Производная единица		
			Наименование	Обозначение	
				русское	международное
Молярная концентрация	$L^{-3}N$	$C = \nu/V$	моль на кубический метр	моль/м ³	mol/m ³
Энтропия системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	$\Delta S = \Delta Q / T$	джоуль на кельвин	Дж/К	Ж/К
Удельная теплоемкость	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$c = Q / (m \cdot \Delta T)$	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	Ж/(кг·К)
Молярная теплоемкость	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	$C = c \cdot M$	джоуль на моль-кельвин	Дж/(моль·К)	Ж/(mol·K)
Поверхностное натяжение	MT^{-2}	$\sigma = \Delta F / \Delta l$	ньютон на метр	н/м	N/m

В системе СИ существуют также производные единицы, которые имеют *специальное* название. Их перечень приведен в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Производные единицы СИ, имеющие специальные названия

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
Плоский угол	1	Радян	рад	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Телесный угол	1	Стерadian	ср	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Частота	T^{-1}	Герц	Гц	s^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	Ньютон	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	Джоуль	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L^2MT^{-3}	Ватт	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Количество электричества	T	Кулон	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	Вольт	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$