

УДК 544.3(075)
ББК 24.53я7
К89

Кузнецов, О. А.

К89 Термодинамика в нефтегазоперерабатывающей и химической промышленности: монография / О. А. Кузнецов — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. — 164 с.

ISBN 978-5-4499-0080-7

Для понимания основных процессов, применяемых в нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической отраслях, необходимо знать термодинамику. Представленный материал освещает вопросы, касающиеся в первую очередь массообменных процессов. Изложенные методики поясняют, как работают современные программы для технологических расчётов процессов.

Рекомендуется для студентов и инженерно-технических работников.

Текст приводится в авторской редакции.

УДК 544.3(075)
ББК 24.53я7

ISBN 978-5-4499-0080-7

© О. А. Кузнецов, текст, 2019

© Издательство «Директ-Медиа», макет, оформление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение в термодинамику	7
1.1 Первый постулат	8
1.2 Второй постулат (первый закон термодинамики)	9
1.3 Третий постулат	10
1.4 Четвёртый постулат (второй закон термодинамики)	10
1.5 Пятый постулат	11
2 Переменные, условия и отношения	13
2.1 Системы постоянного состава	18
2.1.1 U , H и S как функции от T и P , или T и V	18
2.1.2 Модель идеального газа	19
2.1.3 Отклонения свойств	22
3 Расчёт параметров газов и паров	25
3.1 Оценка энтальпии и энтропии идеального газа	25
3.2 Отклонения энтальпии и энтропии по функциям PVT	27
3.2.1 Вириальные уравнения состояния	27
3.2.2 Кубическое уравнение состояния	35
3.2.3 Обобщённые корреляции Питцера	39
4 Определение других свойств	43
4.1 Жидкая фаза	43
4.2 Фазовый переход жидкость — пар	44
5 Термодинамика процессов течения флюидов	47
5.1 Массовый, энергетический и энтропийный балансы открытых систем	47
5.1.1 Массовый баланс открытых систем	48
5.1.2 Общий энергетический баланс	48

5.1.3 Энергетический баланс установившегося процесса течения флюида	49
5.1.4 Энтропийный баланс открытых систем	49
5.1.5 Обобщение уравнений баланса открытых систем	50
5.2 Применение к процессам течения флюидов	51
5.2.1 Канальное течение сжимаемого флюида	51
5.2.2 Течение в трубе	53
5.2.3 Насадки	53
5.2.4 Процесс дросселирования	55
5.2.5 Турбины (турбодетандеры)	56
5.2.6 Процессы компримирования	57
5.2.7 Пример 1: Испарение и сжатие СПГ	60
6 Системы изменяемого состава	63
6.1 Парциальные молярные свойства	63
6.1.1 Уравнение Гиббса — Дюгема	65
6.1.2 Парциальные молярные параметры уравнений состояния	67
6.1.3 Парциальная молярная энергия Гиббса	68
6.2 Термодинамические расчёты	69
6.2.1 Модель смеси идеальных газов	69
6.2.2 Фугитивность и коэффициент фугитивности	70
6.2.3 Оценка коэффициентов фугитивности	72
6.2.4 Идеальная расчётная модель	73
6.2.5 Избыточные свойства	76
6.2.6 Изменения свойств смеси	77
6.3 Фундаментальные зависимости свойств, основанных на энергии Гиббса	79

6.3.1	Фундаментальное отношение отклонений свойств	79
6.3.2	Фундаментальное отношение избыточных свойств	82
6.4	Модели избыточной энергии Гиббса	84
6.4.1	Поведение бинарных жидких растворов	91
7	Равновесие	95
7.1	Критерии	95
7.2	Правило фаз	97
7.2.1	Пример 2: Применение правила фаз	99
7.2.2	Теорема Дюгема	100
7.3	Равновесие пар — жидкость	100
7.3.1	Подход гамма-фи	101
7.3.2	Модифицированный закон Рауля	104
7.3.3	Пример 3: Расчеты точек росы и кипения	106
7.3.4	Сокращение данных	109
7.3.5	Системы растворитель — растворённое вещество	113
7.3.6	Расчёт константы фазового равновесия K , парожидкостного равновесия и однократного испарения	116
7.3.7	Пример 4: Расчёт однократного испарения	118
7.3.8	Подход по уравнению состояния	119
7.3.9	Экстраполяция температурных данных	126
7.3.10	Пример 5: Парожидкостное равновесие при нескольких температурах	128
7.4	Равновесия жидкость/жидкость и пар/жидкость/жидкость ...	130
7.5	Стехиометрия химических реакций	131
7.6	Равновесие химических реакций	132
7.6.1	Стандартные изменения свойств реакции	133
7.6.2	Константы равновесия	134

7.6.3 Пример 6 — Равновесие одной реакции	139
7.6.4 Комплексное равновесие химических реакций.....	141
8 Термодинамический анализ процессов	145
8.1 Расчет идеальной работы	145
8.2 Потерянная работа.....	147
8.3 Анализ стационарных устойчивых процессов	149
8.3.1 Пример 7: Анализ потерь работы.....	150
Обозначения и единицы измерения	154
Литература.....	159