

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский государственный технологический университет»

Зарипов З.И. Мухамедзянов Г.Х.

# ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И РАСТВОРОВ

Казань  
КГТУ  
2008

УДК 536.632+536.2.023+536.412+536.12.  
ББК

**Зарипов З.И. Мухамедзянов Г.Х.**

Теплофизические свойства жидкостей и растворов: монография / З.И. Зарипов, Г.Х. Мухамедзянов. – Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. –362 с.

ISBN 978-5-7882-0663-9

Работа посвящена теоретическим и экспериментальным основам определения комплекса термических и теплофизических свойств жидкостей в калориметре теплового потока.

Предложена математическая модель температурных полей теплопроводящего калориметра при точечном нагреве и проведен анализ полей температур в калориметре. Изложены теоретические основы определения и методики измерения комплекса термических и теплофизических свойств. Представлены результаты исследования и обобщения термических (коэффициентов теплового расширения  $\alpha_p$  и изотермической сжимаемости  $\beta_T$ ) и теплофизических свойств (изобарной теплоемкости, коэффициентов температуропроводности и теплопроводности) различных классов жидких органических соединений и водных растворов солей щелочных металлов.

Предназначена для широкого круга специалистов и научных работников, занимающихся вопросами теплофизики и проектирования различных производств и аппаратов в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского государственного технологического университета.

Рецензенты: доктор техн. наук С.Э.Тарасевич  
доктор техн. наук Р.А.Садыков

ISBN 978-5-7882-0663-9

© Зарипов З.И. Мухамедзянов Г.Х.  
© Казанский государственный  
технологический университет, 2008

СОДЕРЖАНИЕ	
ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В КАЛОРИМЕТРЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА .....	
1.1. Нестационарные методы измерения комплекса теплофизических свойств веществ .....	8
1.2. Математическая модель температурных полей теплопроводящего калориметра при точечном нагреве .....	17
1.2.1. Расчетный алгоритм. ....	20
1.2.2. Нестационарная одномерная задача теплопроводности....	22
1.2.3. Дискретизация граничных условий. ....	26
1.2.4. Анализ температурных полей .....	27
1.3. Основы измерения теплофизических и термических свойств в калориметре теплового потока .....	32
1.3.1. Расчетная формула определения коэффициента температуропроводности. ....	32
1.3.2 Расчетная формула определения коэффициента. теплопроводности .....	35
1.3.3. Расчетная формула для определения теплоемкости по дифференциальной и одноканальной схеме измерения .....	38
1.3.4. Теоретические основы измерения коэффициентов теплового расширения и изотермической сжимаемости в калориметре теплового потока.....	40
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ОТ 253 К ДО 363 К И ДАВЛЕНИЯХ ДО 196 МПА. ....	
2.1. Модернизированная экспериментальная установка для измерения комплекса свойств в ходе одного эксперимента в	

интервалах давлений от 0,098 до 196МПа и температур от 298 до 363К.....	43
2.1.1. Микрокалориметр.....	44
2. 1.2. Микрокалориметрический элемент. ....	45
2.2. Экспериментальная установка для измерения термических коэффициентов .....	47
2.2.1. Микрокалориметрический элемент .....	49
2.3. Экспериментальная установка для измерения комплекса свойств в интервалах давлений от 0.098 до 196МПа и температур от 263 до 363К. ....	51
2.3.1. Микрокалориметр.....	52
2.3.2. Микрокалориметрический элемент. ....	52
2.4. Стенд электрических измерений.....	55
2.5. Измерительные ячейки и запорная арматура.....	57
2.6. Система термостатирования и терморегулирования. ....	69
2.6.1.Система термостатирования. Термостатирование в интервале температур от 173 до 363К .....	62
2.7.Система создания давления. ....	63
2.8. Методические особенности проведения измерения комплекса термических и теплофизических свойств. ....	65
2.8.1. Методика комплексных измерений термических и теплофизических свойств. ....	67
2.9. Контрольные измерения. ....	70
2.10.Оценка погрешности опытов.....	75
2.10.1. Результаты оценки погрешностей измерения.....	76
2.11. Объекты исследования и оценка их чистоты .....	76

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	82
3.1. Термические и теплофизические свойства предельных. углеводов .....	82

3.1.1. Обзор основных работ по исследованным свойствам и краткая характеристика объектов исследования. ....	82
3.1.3. Теплоемкость предельных углеводородов. ....	82
3.1.3. Температуропроводность предельных углеводородов. ....	90
3.1.3.1. <i>n</i> -гексан и <i>n</i> -гептан. ....	90
3.1.4 Термические свойства предельных углеводородов. ....	94
3.1.4.1. Коэффициент теплового расширения <i>n</i> -гексана. ....	94
3.1.4.2. Коэффициент изотермической сжимаемости <i>n</i> -гексана. ....	96
3.2. Термические и теплофизические свойства непредельных углеводородов. ....	100
3.2.1. Обзор основных работ по исследованным свойствам и краткая характеристика объектов исследования. ....	100
3.2.3. Теплоемкость непредельных углеводородов. ....	101
3.2.3. Температуропроводность непредельных углеводородов. ....	109
3.2.4. Коэффициент теплового расширения непредельных углеводородов. ....	115
3.2.5. Коэффициент изотермической сжимаемости непредельных углеводородов. ....	123
3.2.6. Теплопроводность непредельных углеводородов. ....	132
3.3. Термические и теплофизические свойства галогензамещенных предельных углеводородов. ....	136
3.3.1. Краткая характеристика и основные физико-химические свойства объектов исследования. ....	136
3.3.2. Теплоемкость галогензамещенных углеводородов. ....	138
3.3.3. Температуропроводность бромзамещенных углеводородов. ....	144
3.3.4. Коэффициент теплового расширения бромзамещенных углеводородов. ....	147
3.3.5. Коэффициент изотермической сжимаемости бромзамещенных углеводородов. ....	153
3.4. Теплофизические, термические свойства полиэтиленгликолей и их смесей. ....	158
3.4.1 Комплекс теплофизических и калорических свойств. ....	

полиэтиленгликолей.....	158
3.4.1.1.Теплоемкость полиэтиленгликолей.....	160
3.4.1.2. Температуропроводность полиэтиленгликолей.....	167
3.4.1.3 Коэффициенты теплового расширения и изотермической сжимаемости.....	171
3.4.2.Комплекс теплофизических свойств смесей полиэтиленгликолей.....	174
3.4.2.1.Теплоемкость и температуропроводность.....	174
3.5. Теплоемкость и температуропроводность полипропиленгликолей.....	182
3.6. Теплофизические свойства водных растворов солей щелочных металлов.....	187
3.6.1. Обзор основных работ по теплоемкости и температуропроводности. Краткая характеристика и основные физико-химические свойства объектов исследования.....	187
3.6.2. Теплоемкость водных растворов солей щелочных металлов.....	189
3.6.3. Температуропроводность водных растворов солей щелочных металлов.....	200

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	
4.1. Теплоемкость .....	204
4.2.Температуропроводность.....	209
4.3. Термические свойства .....	210

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ И ОБОБЩЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	
5.1 Обсуждение методов расчета теплоемкости жидких органических соединений.....	215

5.1.1 Методы расчета теплоемкости и температуропроводности, основанные на модельных представлениях и методах подобия....	218
5.1.1.2. Теплоемкость углеводородов. ....	218
5.1.1.3. Температуропроводность углеводородов. ....	222
5.2. Корреляция теплоемкости от молекулярной рефракции. ....	223
5.2.1. Зависимость теплоемкости от температуры .....	227
5.2.2 Зависимость температуропроводности от молекулярной рефракции.....	237
5.2.3 Методы расчета теплоемкости и температуропроводности водных растворов солей щелочных металлов .....	240
5.2.3.1. Теплоемкость .....	240
5.2.3.2. Температуропроводность.....	242
5.3. Энтропийный метод .....	245
<b>ГЛАВА 6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОБОБЩЕНИЯ</b>	
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕРМИЧЕСКИМ</b>	
<b>КОЭФФИЦИЕНТАМ .....</b>	
6.1 Теоретические методы расчета термических коэффициентов. ....	254
6.2. Методы расчета термических коэффициентов на основе эмпирических уравнений состояния.....	257
6.3. Методы расчета термических коэффициентов на основании одно- и многопараметрического закона соответственных состояний.....	260
6.4. Обобщение экспериментальных данных по коэффициентам теплового расширения и изотермической сжимаемости жидких органических соединений.....	262
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	272
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	332
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	369