

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 α_p и изотермической сжимаемости β_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 | 8 |
| 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. | 42 |
| 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..... | |
| 3.1. Термические и теплофизические свойства предельных. углеводородов | 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. Энтروпийный метод | 245 |
| ГЛАВА 6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОБОБЩЕНИЯ | |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕРМИЧЕСКИМ | |
| КОЭФФИЦИЕНТАМ..... | |
| 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 |