

В.Н. Железный, Ю.В. Самонюк

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
РАСТВОРОВ КЛАДАГЕНТОВ
В КОМПРЕССОРНЫХ
МАСЛАХ**

УДК 621.564.2:536

ББК 31.392:22.36

Ж 511

Авторы:

Железный В.П. – доктор технических наук, профессор;

Семенюк Ю.В. – кандидат технических наук, доцент.

Рекомендовано к печати

Ученым Советом Одесской национальной академии пищевых технологий.

Протокол № 8 от 19 февраля 2013 г.

Рецензенты:

Доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры теплофизики Одесского
национального университета им. И.И. Мечникова **В.В. Калинин**;

доктор технических наук, профессор,

заф. кафедрой холодильных машин и установок

Одесской национальной академии пищевых технологий **М.Г. Хмельнюк.**

Железный В.П.

Ж 511 Теплофизические свойства растворов хладагентов в компрессорных
маслах : моногр. / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк. – Одесса : Фенікс,
2013. – 419 с.

ISBN 978-966-438-692-7

В монографии приведены результаты экспериментально-расчетных исследований теплофизических свойств растворов альтернативных хладагентов в компрессорных маслах, которые были выполнены на кафедре инженерной теплофизики Одесской национальной академии пищевых технологий. Значительное внимание уделено оценке влияния примесей масла в хладагенте на показатели эффективности компрессорной системы. Рассмотрены перспективы применения нанотехнологий в холодильной промышленности.

Монография предназначена для научных сотрудников и инженеров, которые занимаются проектированием, созданием и эксплуатацией холодильного оборудования, а также для аспирантов и студентов холодильных, энергетических специальностей.

ББК 31.392:22.36

ISBN 978-966-438-692-7

© В.П. Железный, Ю.В. Семенюк, 2013

© ОНАПТ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	7
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
1 ОБЗОР ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ И РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО..	13
1.1 Теплофизические свойства компрессорных масел.....	13
1.2 Теплофизические свойства растворов хладагентов с компрессорными маслами.....	16
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ И РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО.....	27
2.1 Экспериментальные исследования теплофизических свойств компрессорных масел.....	29
2.1.1 Исследование капиллярной постоянной и определение псевдокритической температуры компрессорных масел.....	31
2.1.2 Исследование плотности компрессорных масел.....	35
2.1.3 Исследование поверхностного натяжения компрессорных масел.....	38
2.1.4 Исследование показателя преломления компрессорных масел.....	39
2.1.5 Исследование вязкости компрессорных масел.....	42
2.1.6 Исследование давления насыщенных паров компрессорных масел на линии кипения.....	44
2.1.7 Определение средней молярной массы компрессорных масел.....	48
2.2 Экспериментальные исследования теплофизических свойств растворов хладагентов с компрессорными маслами.....	52
2.2.1 Аппаратура и методика исследования теплофизических свойств растворов хладагент/масло.....	52
2.2.1.1 Установка для измерения плотности и параметров фазовых равновесий растворов хладагент/масло.....	54
2.2.1.2 Установки для измерения плотности, давления насыщенных паров и капиллярной постоянной растворов хладагент/масло....	58
2.2.1.3 Установка для измерения растворимости газов в жидкостях.....	63
2.2.1.4 Установка для исследования калорических свойств масел и растворов хладагент/масло.....	68

2.2.1.5	Установка для исследования вязкости масел и растворов хладагент/масло.....	77
2.2.2	Результаты экспериментальных исследований теплофизических свойств растворов хладагентов с компрессорными маслами.....	83
2.2.2.1	Фазовые равновесия жидкость-жидкость растворов хладагент/масло.....	85
2.2.2.2	Фазовые равновесия жидкость-пар растворов хладагент/масло.....	89
2.2.2.3	Плотность растворов хладагент/масло.....	94
2.2.2.4	Капиллярная постоянная и поверхностное натяжение растворов хладагент/масло.....	98
2.2.2.5	Калорические свойства растворов хладагент/масло.....	103
2.2.2.6	Вязкость растворов хладагент/масло.....	105
2.3	Методические аспекты экспериментальных исследований теплофизических свойств растворов хладагент/масло.....	109
3	МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХЛАДАГЕНТОВ И РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО.....	118
3.1	Анализ существующих методов расчета термодинамических свойств веществ на линии насыщения.....	120
3.2	Принципы скейлинга в прогнозировании физико-химических свойств веществ на линии насыщения.....	123
3.3	Методы прогнозирования калорических свойств веществ на характерных кривых.....	145
3.4	Методика прогнозирования поверхностного натяжения галоидопроизводных хладагентов и растворов хладагент/масло.....	159
3.4.1	Методика прогнозирования поверхностного натяжения галоидопроизводных хладагентов.....	159
3.4.2	Методика прогнозирования поверхностного натяжения растворов хладагент/масло.....	176
3.5	Методы прогнозирования псевдокритических параметров растворов хладагент/масло.....	187
3.5.1	Методика прогнозирования псевдокритической плотности растворов хладагент/масло.....	189
3.5.2	Определение псевдокритической температуры растворов хладагент/масло из данных по плотности на линии кипения.....	191
3.5.3	Определение псевдокритической температуры растворов хладагент/масло из данных по капиллярной постоянной.....	192
3.5.4	Определение псевдокритического давления растворов хладагент/масло из данных по давлению насыщенных паров.....	195

3.6	Методы прогнозирования вязкости хладагентов и их растворов с компрессорными маслами.....	199
3.6.1	Анализ существующих методов прогнозирования вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло.....	199
3.6.1.1	Модель жестких сфер для расчета вязкости жидкостей.....	200
3.6.1.2	Метод самоотнесения для расчета вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло.....	202
3.6.1.3	Теория трения для расчета вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло.....	202
3.6.1.4	Модель свободного объема для расчета вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло.....	204
3.6.1.5	Корреляции для расчета вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло.....	205
3.6.1.6	Выводы.....	206
3.6.2	Моделирование температурно-концентрационной зависимости динамической вязкости хладагентов и растворов хладагент/масло на линии кипения.....	209
3.7	Модель SP-QSPR для прогнозирования физико-химических свойств хладагентов и растворов хладагент/масло на линии кипения.....	221
3.7.1	Основные структурно-аддитивные свойства.....	223
3.7.2	Модель SP-QSPR для прогнозирования теплофизических свойств веществ.....	229
3.8	Зависимость поверхностного натяжения хладагентов и растворов хладагент/масло от давления насыщенных паров.....	240
4	ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО.....	246
4.1	Краткий обзор используемых подходов к моделированию фазовых равновесий растворов хладагент/масло.....	246
4.2	Методические проблемы расчетных методов исследования свойств растворов хладагент/масло.....	255
5	МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КУБИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ.....	263
5.1	Модификация кубического уравнения состояния для моделирования фазовых равновесий жидкость-пар растворов хладагент/масло.....	264
5.2	Моделирование фазовых равновесий жидкость-пар растворов хладагент/масло модифицированными кубическими уравнениями состояния.....	269

5.3	Результаты термодинамического моделирования фазовых равновесий растворов хладагент/масло.....	274
5.3.1	Результаты термодинамического моделирования фазовых равновесий модельной системы RE170/TEG.....	275
5.3.2	Результаты термодинамического моделирования фазовых равновесий растворов R410A/Reniso Triton SEZ 32.....	279
6	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ МАСЛА В ХЛАДАГЕНТЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ.....	284
6.1	Разработка диаграмм $lgP - h$ и $h - w_R$ для реальных рабочих тел.....	290
6.2	Оценка влияния примесей масла в хладагенте на теоретические показатели эффективности компрессорной системы.....	299
6.3	Влияние примесей масла в хладагенте на теоретические показатели эффективности компрессорной системы с регенеративным теплообменником.....	309
6.4	Анализ выполненных расчетов показателей энергетической эффективности компрессорных систем.....	315
6.4.1	Сравнение расчетных характеристик эффективности компрессорных систем с литературными данными.....	316
6.4.2	Сравнение рассчитанных показателей эффективности компрессорной системы с результатами эксплуатационных испытаний ЗАО «Атлант» (г. Минск).....	320
6.4.3	Сравнение результатов теоретического расчета эффективности холодильного оборудования с данными эксплуатационных испытаний АО "Холодмаш" (г. Ярославль).....	323
7	АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ.....	330
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	344
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	347
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	383
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	386
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	391
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	411