

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ  
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА  
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



**VI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2016»  
VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2016»  
VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2016»**

**Конференция баяндамаларының жинағы**

**1-2 наурыз, 2016 ж.**

**Сборник докладов конференции**

**1-2 марта 2016 г.**

**Proceedings of the Conference**

**March 1-2, 2016**

**Алматы, 2016**

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392  
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора технических наук,  
академика **Кулажанова Т.К.**

**Редакционная коллегия:**

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,  
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2016: Сбор. докл. межд. науч.-техн. конф. (1-2 марта 2016 г.) – Алматы: АТУ, 2016. – 163 с.

ISBN 978-601-263-344-3

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Израиля, Голландии, Японии и Украины по направлениям: теплохладоснабжение, пищевая технология, кондиционирование и экология.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях индустрии холода, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-344-3

© АТУ, 2016

Скорость сушки в первой части процесса всегда выше в периоды продувки, во второй части значительно усиливается скорость в период МВ нагрева, причем для воздуха без предварительного подогрева скорость МВ сушки становится выше, чем в периоды продувки. На значение скорости сушки в периоды МВ нагрева и в периоды продувки оказывает влияние температура материала и его влагосодержание.

Оптимальному режиму циклической микроволновой сушки соответствует минимальная из ряда исследованных длительность продувки слоя зерна (10 с) воздухом без его предварительного подогрева.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Advances in Bioprocessing Engineering / Editors H. Yang, J. Tang. London. Advances in Agricultural Science and Technology. Vol. 1. Editors H. Yang, J. Tang. London: World Scientific, 2002. – 172 p.
2. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Кинетика микроволновой сушки сыпучего органического материала // ИФЖ, 2006. – №3, Т.79. – С. 123-127.
3. Metaxas A.S. Meredith R.J. Industrial Microwave Heating. London: Peter Perigrinus, 1983. – 156 p.
4. Naghi, A.K. H. Ghanadzadeh. Experimental study on combined infrared and microwave drying of porous media with particular application in wood industry // Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2006. – Vol. 11, № 4. – P. 985-991.
5. Волгушева Н.В. Кінетика сушіння щільного шару дисперсного матеріалу (на прикладі гречки) при різних способах підведення теплоти / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. /Одеса: ОДАХ, 2005. – 18 с.
6. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472с.
7. Дементьева Т. Ю. Інтенсифікація процесів тепловологопереносу при сушінні зернового матеріалу з застосуванням мікрохвильового електромагнітного поля / Автореф. дис.... канд. техн. наук /Одеса: ОДАХ, 2012. – 22 с.

УДК 536.423:536.71

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

*Волчок В.А., к.т.н., Лепардин Н.И., к.т.н.,  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина  
E-mail: recvic@te.net.ua, lapardina2004@mail.ru*

Одним из путей дальнейшего развития холодильной техники является применение смесей хладагентов с сокращением использования озоноразрушающих веществ. Смесевые хладагенты имеют по сравнению с чистыми веществами ряд преимуществ: увеличение холодопроизводительности установок без особых конструктивных изменений, получение низких температур с высокими объемными и энергетическими характеристиками.

Задача применения многочисленных смесевых хладагентов в холодильной технике по-прежнему остается актуальной, что определяет необходимость не только экспериментального и теоретического изучения их свойств, но и учет их экологического воздействия на окружающую среду в результате неизбежных утечек рабочего тела.

При разработке и проектировании холодильного оборудования, работающего на многокомпонентных смесях, часто возникают трудности, связанные с отсутствием достоверной информации о термодинамических свойства (ТДС) многокомпонентных смесей хладагентов. Имеющаяся в литературе информация о ТДС ограничена и не позволяет интерпретировать полученные закономерности на другие системы. Возможности теоретических методов расчета ограничены и позволяют получить лишь качественную информацию о свойствах многокомпонентных рабочих тел.

Существенное прикладное значение имеет рассмотренный в статье вопрос, связанный с возможностью определения ТДС многокомпонентных смесей на основе экспериментальных данных о бинарных смесях хладагентов.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальном изучении плотности жидкости 4-х бинарных смесей и одной тройной смеси R401a в однофазной области, давления кипения 6-ти бинарных смесей и одной тройной смеси R401a и моделировании ТДС смесей уравнениями состояния.

В экспериментальной части работы был использован метод пьезометра постоянного объема, отличающийся высокой надежностью, точностью и достаточной простотой в реализации [1]. Опыты проводились по квазиизохорам, начиная с наиболее низкой температуры.

Диапазоны исследования давления кипения и плотности жидкой фазы смесей хладагентов приведены в табл. 1.

Массив исходных данных был сформирован из 1421 имеющихся в литературе значений давления кипения и плотности жидкости в 14 источниках, а также 124 экспериментальных значений, полученных в рамках настоящей работы.

Таблица 1 – Диапазоны исследования давления кипения и плотности жидкой фазы смесей хладагентов

Смесь хладагентов	Диапазон исследований давления кипения		Диапазон исследований плотности жидкости	
	P, МПа	T, К	P, МПа	T, К
R125/R22	0,38 – 2,96	258,7 – 333,8	1,3 – 13,1	260,0 – 331,3
R22/R124	0,23 – 1,60	262,6 – 332,4	1,8 – 12,9	264,7 – 337,3
R152a/R124	0,11 – 1,26	257,1 – 335,0	1,3 – 12,7	262,6 – 331,9
R124/R142b	0,08 – 1,37	257,7 – 350,7	–	–
R22/R142b	0,19 – 2,36	258,5 – 353,6	2,1 – 12,2	261,9 – 338,6
R22/R152a	0,18 – 1,90	255,8 – 335,0	–	–
R401A	0,59 – 1,73	289,2 – 330,5	2,5 – 9,8	265,5 – 342,8

Совместная обработка полученных данных по плотности жидкой фазы и давлению кипения сводилась к поиску оптимальных значений «перекрёстных» констант модифицированных обобщённых уравнений состояния (УС) Пенга-Робинсона (ПР) и Ли-Кеслера (ЛК) [2], а также фундаментального уравнения в терминах энергии Гельмгольца в приведенной форме (СЭГ) [3].

В первом случае использовалось достаточно простое кубическое УС ПР, которое часто применяется при расчётах циклов холодильных машин.

Эмпирические поправки к правилам комбинирования параметров смеси, модифицированного УС ЛК, находились следующим образом. По данным о давлении кипения смеси подобран параметр  $K_i$ , как функция приведенной температуры; далее с использованием этого значения определялся параметр  $K_p$  при условии наилучшего описания плотности смеси в жидкой фазе.

Для фундаментального УС, выраженного через энергию Гельмгольца в приведенной форме, оптимальные значения подгоночных параметров  $K_i$  и  $K_v$  определялись при совместной обработке экспериментальных значений по плотности жидкости и давления кипения смеси при условии наименьшего отклонения.

Методика обработки результатов прямых измерений предусматривала предварительную оценку составов паровой и жидкой фаз, а также плотности паровой фазы при температурах балластного объема и пьезометра, и плотности жидкой фазы.

Полученные экспериментальные значения давления кипения шести бинарных зеотропных смесей хладагентов R125/R22, R22/R152a, R22/R124, R152a/R124, R22/R142b и R124/R142b были использованы для сравнительного анализа различных форм УС.

Проведен анализ возможности использования трех форм УС при описании термодинамической поверхности бинарных зеотропных смесей хладагентов и сопоставлены результаты расчета ТДС по оригинальной версии УС ПР, модифицированному УС ЛК и УС СЭГ с оптимальными перекрестными параметрами.

Для проведения сравнительного анализа различных форм УС, с целью выявления их возможностей при описании термодинамической поверхности бинарных зеотропных смесей хладагентов, были выбраны три широко применяемые УС. Следует отметить, что для кубического УС ПР были приняты для расчетов оригинальные правила комбинирования индивидуальных параметров. Несмотря на этот факт, УС ПР по некоторым экспериментальным точкам имеет меньшее среднеквадратическое отклонение, чем УС ЛК и СЭГ, для которых находились соответствующие коэффициенты  $K_i$ ,  $K_p$  и  $K_v$ .

Для нахождения перекрестных коэффициентов УС ЛК и СЭГ учитывался весь массив экспериментальных данных, полученных как в настоящей работе, так и данные других авторов с учетом погрешностей измеряемых величин.

В силу недостатков, присущих кубическим УС, как и предполагалось, УС ПР менее адекватно воспроизводит экспериментальные данные. К ним относится принципиальная невозможность одновременного точного описания параметров критической точки индивидуальных веществ и смесей на их основе. Это может привести к несогласованности при описании термодинамической поверхности в вопросах, где существенным приоритетом является установление вида агрегатного состояния рабочего тела холодильной машины. Несмотря на это, УС ПР показало достаточно приемлемый результат по сравнению с многопараметрическими фундаментальными уравнениями состояния.

Проведенное сравнение показало, что опытные значения давления кипения и плотности жидкости бинарных зеотропных смесей хладагентов, полученные в настоящей работе, вполне адекватно согласуются с данными, опубликованными рядом авторов. Это позволило в дальнейшем с уверенностью опираться на эти результаты.

Комплекс расчетов использует модель, которая использует правила смешения, применяемые к компонентам смеси УС СЭГ. В частности, для смеси R125/R22 были предложены значения подгоночных параметров  $K_t = 0,9534$  и  $K_v = 1,0000$ , для смеси R22/R152a -  $K_t = 1,0187$  и  $K_v = 1,0000$ , для смеси R22/R124 -  $K_t = 0,9513$  и  $K_v = 1,0000$ , для смеси R22/R142b -  $K_t = 1,0006$  и  $K_v = 1,0000$ , для смеси R124/R142b -  $K_t = 0,9964$  и  $K_v = 1,0000$ , для смеси R152a/R124 -  $K_t = 0,9878$  и  $K_v = 1,0000$ .

При этом среднеквадратичные погрешности по плотности жидкой фазы составили: для смеси R22/R124 – 1,48 %, для смеси R152a/R124 – 1,41 %, для смеси R125/R22 – 0,22 %, для смеси R22/R142b – 0,30 %, для хладагента R401A – 1,13 %.

В ходе проведенного расчетного исследования давления кипения бинарных смесей хладагентов и хладагентов R401A и R409A [4], а также плотности жидкой фазы бинарных смесей хладагентов и хладагента R401A, существенно повышена точность описания ТДС бинарных смесей хладагентов по сравнению с имеющимися литературными данными. При этом данные о давлении кипения оказывают наибольшее влияние на коэффициент  $K_t$ , а данные о плотности жидкой фазы на коэффициент  $K_v$ .

Принятая для расчетов модель описания ТДС веществ хладагентов, основанная на правиле комбинирования констант УС, даёт возможность расчета ТДС смесей хладагентов на основе данных о бинарных смесях, входящих в их состав.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапардин Н.И. Свойства сервисных хладагентов R409A и R409B / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер, В.А. Волчок // Обладнання та технології харчових виробництв: Темат. зб. наук. пр. - Донецьк: ДонНУЕТ. - 2012. – Вип. 29. – С. 119-126.
2. Захаров Н.Д. Моделирование термодинамических свойств смесей обобщенными уравнениями состояния / Н.Д. Захаров, Н.И. Лапардин // Холодильна техніка і технологія. – 2001. – №3 (72). – С.19-24.
3. Lemmon E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, version 8.0. / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. - 2007.
4. Bouchot C. Direct pressure-volume-temperature and vapor-liquid equilibrium measurements with a single equipment using a vibrating tub densimeter up to 393 K and 40 MPa: description of the original apparatus and new data / C. Bouchot, D. Richon // Ind.Eng.Chem. Res. – 1998. – Vol. 37. – P. 3295-3304.

УДК 663.1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЙОГУРТОВЫХ ЗАКВАСОК

*Баженова И.А., к.т.н., Рыбкина Е.Д.,*

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный торговно-экономический университет»  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Сегодня на российском рынке мы наблюдаем большое разнообразие заквасочных культур для производства кисломолочных продуктов, в состав которых входят штаммы с различными биохимическими и технологическими свойствами. Вид микроорганизмов оказывает существенное влияние на вкус, запах и консистенцию готового продукта, а также формирование таких качественных показателей, как активность кислотообразования, способность к синерезису, прочность, вязкость образовавшегося сгустка, накопление ароматических веществ и др.