

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

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
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

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ЗЕРНА В ЦИКЛИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

*Бошкова И.Л., д.т.н., Волгушева Н.В., к.т.н., Дементьева Т.Ю., к.т.н.,
г. Одесса, Украина*

E-mail: ira@boshkova@mail.ru, n-@mail.ru

Необходимость совершенствования технологии сушки зерна обусловлена значительным объемом материала, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества конечного продукта. В этом направлении перспективными являются технологии, основанные на применении диэлектрического нагрева в микроволновом поле, что дает некоторые преимущества в операциях сушки, включающие высокую энергетическую эффективность и более однородное распределение температуры и влагосодержания [1-3]. Микроволновые технологии относятся к разряду энергосберегающих в силу их естественной специфики [4], однако для создания действующего оборудования необходимо проведение комплексных исследований, целью которых является определение рациональных условий процесса. Особый интерес представляют комбинированные способы микроволнового нагрева, применение которых позволяет поддерживать требуемый температурный режим и высокую скорость сушки [5]. Одним из таких комбинированных методов является циклическая сушка, при которой периоды подвода микроволновой энергии чередуются с периодами продувки слоя сушильным агентом (к примеру, воздухом).

Целью исследований являлось определение влияния продолжительности продувки слоя зерна воздухом, без предварительного подогрева и нагретым, на основные характеристики процесса сушки (средняя температура материала, скорость сушки, удельные энергозатраты), и выбор оптимального режима при циклическом подводе микроволновой энергии. Схема микроволновой экспериментальной установки для исследования процессов тепломассопереноса при сушке зерновых материалов представлена на рис. 1. Внутри рабочей камеры установлен воздухопровод из радиопрозрачного материала, в который помещалась ячейка, изготовленная в форме параллелепипеда из сетчатого материала. В экспериментальную ячейку засыпалось заданное количество зерна. Методика проведения экспериментов состояла в следующем. В микроволновую установку загружалось 100 г зерна (овес) с начальным влагосодержанием 0,2 кг/кг. Сушка зерна проходила в циклическом режиме.

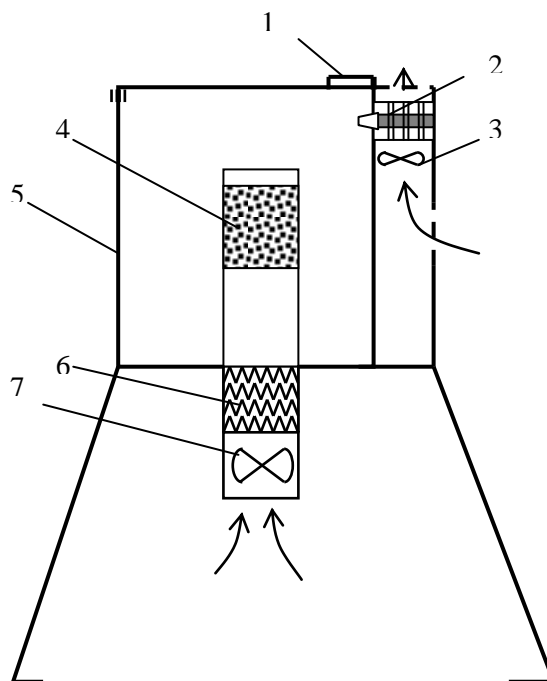


Рисунок 1 - Схема установки для исследования кинетики сушки зерновых материалов при микроволновом и конвективном нагреве

1 – дверца, 2 – магнетрон, 3 – вентилятор системы охлаждения магнетрона, 4 – экспериментальная ячейка с материалом для исследований, 5 – рабочая камера, 6 – электронагреватель, 7 – вентилятор.

Длительность периода МВ нагрева во всех опытах составляла $\tau=10$ с, выходная мощность магнетрона соответствовала 600 Вт. Длительность периода продувки варьировалась: 10, 20 и 30 с. После каждого из периодов образец извлекался, проводились замеры температуры и массы зерна, после чего в ячейку засыпалась новая порция зерна с таким же начальным влагосодержанием, и процесс длился на соответствующий период больше. Температура воздуха составляла 20°C , скорость фильтрации в слое зерна – 1 м/с, расход – 0,0118 кг/с. Начальная температура зерна – 20°C . На рис. 2 приведены температурные кривые для различных по длительности периодов продувки. Исследование сушки зерна при продувке предварительно нагретым воздухом проводилось по приведенной выше методике, при этом воздух нагревался электронагревателем 6 (рис.1). Температура зерна в период продувки нагретым воздухом снижается менее существенно, чем при продувке холодным воздухом, что определяет большую равномерность сушки. Скорость воздуха – 1 м/с. Каждый цикл состоит из двух периодов: МВ нагрев и продувка слоя зерна воздухом.

На рисунках n – это номер периода. Нечетные номера соответствуют периодам МВ нагрева, четные – периодам продувки.

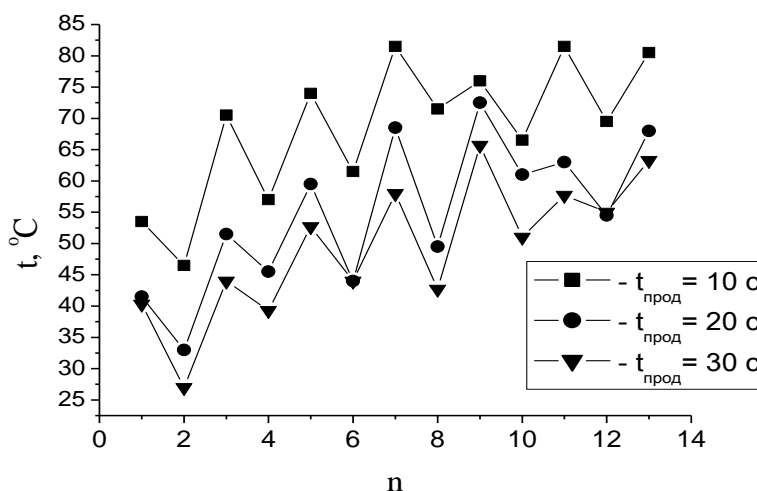


Рисунок 2 – Изменение температуры плотного слоя зерна (овес) при циклическом подводе микроволновой энергии. Продувка слоя воздухом без предварительного подогрева.

Продувка слоя зерна нагретым воздухом, даже при температуре 50°C , приводила к недопустимому росту температуры зерна. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать вывод, что оптимальной является сушка с продувкой слоя без предварительного подогрева воздуха. Для режимов с $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$ при продувке слоя ненагретым воздухом скорость сушки существенно снижается с увеличением длительности продувки, что связано с понижением температуры зерна.

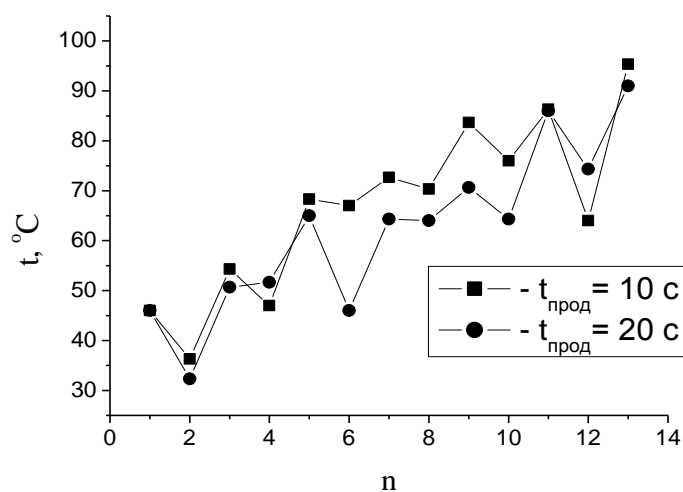


Рисунок 3 – Изменение температуры плотного слоя зерна (овес) при циклическом подводе микроволновой энергии. Продувка слоя воздухом при температуре на входе $t_{\text{в}}=50^{\circ}\text{C}$

Физическое явление, определяющее интенсивность выхода влаги из зерновки – это возникновение избыточного давления с ростом температуры при микроволновом нагреве. В соответствии с данными [6], при сушке в электромагнитном поле при температуре от 45°C до 95°C (а по результатам наших исследований микроволновой плотной сушки слоя зерна – для 70°C [5]), возникает градиент давления, который интенсифицирует перенос вещества. Отмечается, что при выключении источника электромагнитного поля избыточное давление релаксирует не мгновенно вследствие сопротивления молярному переносу внутри тела. Если до температуры 70 °С избыточное давление равно нулю, и перенос молекул воды описывается законами неизотермической диффузии влаги [6], то при дальнейшем повышении температуры образующийся градиент давления приводит к интенсификации выхода влаги к поверхности зерновки. Анализ полученных результатов позволяет предположить, что физическая картина циклической сушки состоит в следующем. После снятия нагрузки и продувки слоя уносится пар из межзернового пространства, а подступившая к поверхности влага частично – испаряется и частично – вновь сорбируется зерновкой. Таким образом, длительность продувки должна быть такой, чтобы вся испарившаяся влага удалялась из межзернового пространства, а релаксационные процессы в зерновках не завершились, что в следующем цикле дает возможность не затрачивать энергию на повторный перенос вещества к их поверхности. Это объясняет экспериментальный результат, полученный в данных исследованиях, согласно которому оптимальному режиму циклической сушки соответствует минимальная длительность продувки ненагретым воздухом.

На рис. 4 и 5 приведены результаты расчетов скорости сушки для различных периодов. Анализ данных приводит к выводу, что при продувке как нагретым, так и ненагретым воздухом, вначале скорость сушки выше в периоды продувки, а в конце – значительно усиливается скорость сушки в периоды МВ нагрева, причем для ненагретого воздуха скорость МВ сушки становится больше, чем в периоды продувки. При использовании нагретого воздуха температура материала в конце эксперимента была выше на 10–20°C по сравнению с ненагретым. Результаты экспериментов показывают, что на значение скорости сушки в периоды МВ нагрева и в периоды продувки оказывает влияние температура материала и его влагосодержание. С увеличением $\tau_{\text{прод}}$ от 10 с до 30 с (рис. 4) скорость сушки снижается для всех периодов, что говорит об общей нерациональности увеличения длительности продувки. При времени 80 с (рис. 4а) и 150 с (рис. 4б), что соответствует четвертому циклу для $\tau_{\text{прод}}=10$ с и пятому для $\tau_{\text{прод}}=20$ с, и далее, отмечается существенное превышение скорости МВ сушки в сравнении со скоростью в периоды продувки. При этом, как видно из рис. 4, для данных, полученных при $\tau_{\text{прод}}=20$ с, этот цикл характеризуется более низкими значениями температур и влагосодержания по сравнению с данными, полученными при $\tau_{\text{прод}}=10$ с.

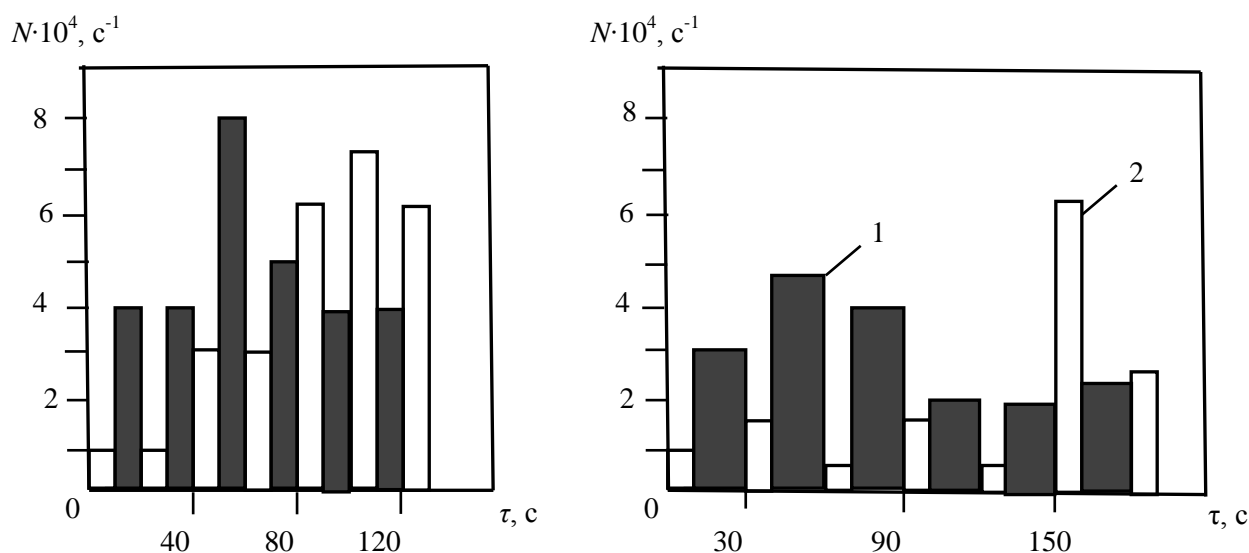


Рисунок 4 - Зависимость скорости циклической сушки плотного слоя зерна от времени при продувке воздухом без предварительного подогрева.

1 – период продувки, 2 – период МВ нагрева. Длительность МВ нагрева – 10 с.

а – $\tau_{\text{прод}}=10$ с, б – $\tau_{\text{прод}}=20$ с.

В периоды продувки нагретым воздухом скорость сушки всегда была выше (рис. 5), однако после третьего цикла для $\tau_{\text{прод}}=10$ с и пятого – для $\tau_{\text{прод}}=20$ с начинает увеличиваться вклад МВ сушки.

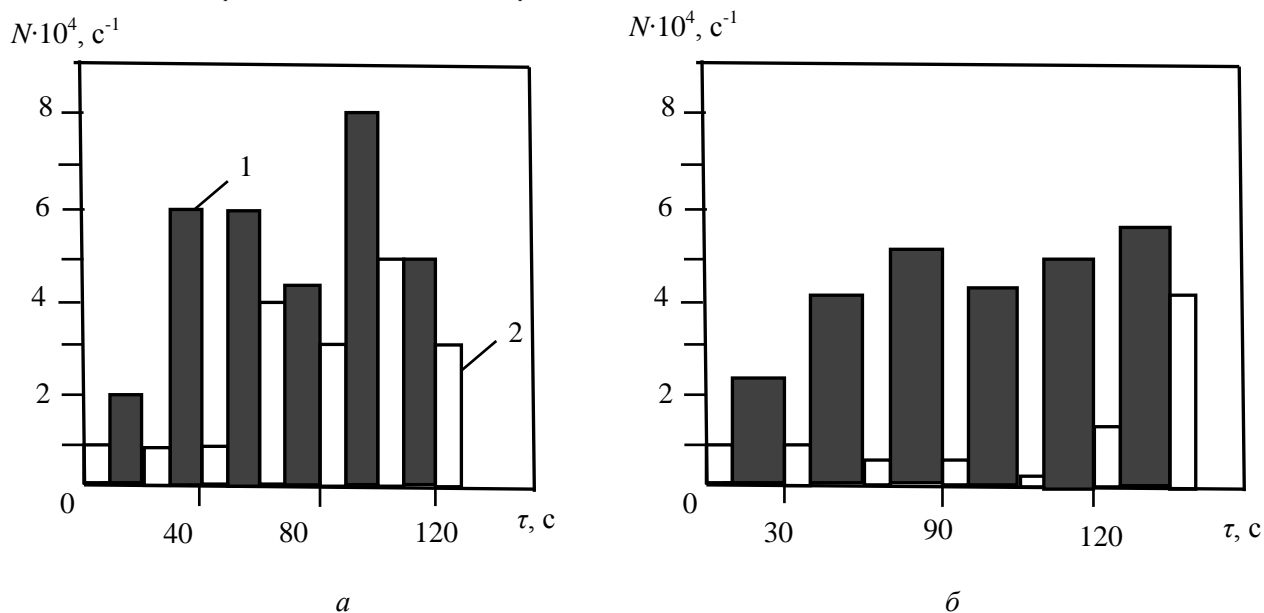


Рисунок 5 – Зависимость скорости циклической сушки плотного слоя зерна от времени при продувке воздухом с температурой на входе 50 °С

1 – период продувки, 2 – период МВ нагрева. Длительность МВ нагрева – 10 с.

а – $\tau_{\text{прод}}=10$ с, б – $\tau_{\text{прод}}=20$ с.

Получено, что варьированием длительностью периодов МВ нагрева и продувки достигается возможность установления интенсивного и энергоэффективного режима сушки. Для получения более полной информации о рациональных режимах сушки, использующей микроволновый нагрев, целесообразно установить изменение основных характеристик процесса по времени для одновременной микроволново-конвективной сушки и провести сопоставительный анализ результатов.

Для оценки общей энергетической эффективности циклической сушки выполнены расчеты средних за весь процесс значений удельных затрат энергии $Q_{\text{уд}}$, скорости сушки $N_{\text{ср}}$, и средних в периоды МВ нагрева $N_{\text{МВ}}$ и продувки $N_{\text{прод}}$ (табл. 1). Удельные затраты энергии существенно ниже в режимах, применяющих воздух без подогрева.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики циклической сушки при различных входных температурах воздуха и длительности продувки

$t_{\text{в}}$, °С	20			50	
$\tau_{\text{прод}}$, °С	10	20	30	10	20
Удельные затраты энергии $Q_{\text{уд}}$, МДж/кг	9,07	9,68	8,96	11,72	14,33
Средняя скорость сушки $N_{\text{ср}}$, с ⁻¹	0,00043	0,000274	0,000224	0,00038	0,000316
Средняя скорость МВ сушки $N_{\text{МВ}}$, с ⁻¹	0,000343	0,000201	0,000157	0,00025	0,000124
Средняя скорость за периоды продувки $N_{\text{прод}}$, с ⁻¹	0,000483	0,000278	0,000233	0,000533	0,000432

Следует отметить, что значения удельных затрат соответствовали конструкции экспериментальной установки, которая не являлась оптимальной по использованию микроволновой энергии, излучаемой магнетроном. Однако полученные данные позволяют проводить сравнительную оценку и определять режимные параметры, при которых наблюдается снижение затрат энергии. Анализ таблицы показывает, что для всех исследованных режимов средняя за процесс скорость сушки выше, чем значения, получаемые при применении традиционных сушилок [6].

Выводы

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.