

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



**Х ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2020»**

**X ANNIVERSARY INTERNATIONAL SCIENTIFIC
AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2020»**

Сборник докладов конференции
4-5 марта 2020г.
Proceedings of the Conference
March 4-5 , 2020

Нур-Султан, 2020

УДК 621.56/59 (063)
ББК 31.392
К 14

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

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Радченко Н.И., Грановский А.С., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К 14 Казахстан-Холод 2020: Сб. докл. межд. науч-техн. конф. (4-5 марта 2020г.) =
Kazakhstan-Refrigeration 2020: Proceeding sof the Conference (March 4-5, 2020). –
Алматы: АТУ, 2020. –249 с., русский, английский

ISBN 978-601-263-529-4

На конференции при участии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан обсуждалось стратегическое видение и поиск среднесрочных решений по применению экологически безопасных холодильных агентов и развитию «Зеленых» технологий переработки пищевых продуктов и холодильных технологий для Республики Казахстан.

В докладах из Казахстана, России, Украины, Германии, Бельгии, Дании, Японии, Южной Кореи, Италии представлены результаты научных исследований, посвященные экологически безопасным холодильным агентам, компрессорам, теплообменным аппаратам, компонентам, системам автоматизации, технологиям холодильного хранения и переработки пищевых продуктов. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной техники, пищевой и нефтегазовой промышленности, а также на специалистов систем кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения.

At the conference, the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan jointly discussed the strategic vision and search for medium-term solutions for the use of environmentally friendly refrigerants and the development of "Green" food processing and refrigeration technologies for the Republic of Kazakhstan.

The reports from Kazakhstan, Russia, Ukraine, Germany, Belgium, Denmark, Japan, South Korea, Italy present the results of scientific research on environmentally friendly refrigerants, compressors, heat exchangers, components, automation systems, technologies for refrigerated storage and processing of food products and practical implementation. The Proceedings are intended for specialists and scientists working in the areas of refrigeration, food and oil and gas industries, as well as for specialists in air conditioning and life support systems.

УДК 621.56/59 (063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-529-4

© АТУ, 2020

**LIQUID-VAPOR EQUILIBRIA, DENSITY AND VISCOSITY OF THE MIXTURE OF
REFRIGERANT R134A WITH LUBRICATING OIL ISO 68**

**ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТЬ-ПАР, ПЛОТНОСТЬ И ВЯЗКОСТЬ СМЕСИ
ХЛАДОНА R134A И СМАЗОЧНОГО МАСЛА ISO 68**

Lapardin N.I. ^a , Cand. Tech. Sc., associate professor	Лапардин Н.И. ^a , к.т.н., доцент
Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine, 65082, Odessa, Dvoryanskaya St., 1/3	Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, 65082, Одесса, ул. Дворянская, 1/
E-mail: a – lapardin2004@gmail.com	

Abstract

The liquid-vapor equilibrium, density and viscosity of the mixture of HFC R134a and synthetic polyol ester lubricating oil ISO 68 were measured over a temperature range from 253 to 373 K, at pressures up to 3,7 MPa, and the mass composition from 0,3 to 0,9. Correlation equations are proposed that describe the boiling pressure, density and viscosity in the specified temperature range and composition of the mixture with sufficient accuracy.

Аннотация

Фазовое равновесие жидкость-пар, плотность и вязкость смеси хладона R134a и синтетического полиолэфирного смазочного масла ISO 68 были измерены в диапазоне температур от 253 до 373 К, при давлениях до 3,7 МПа, и массовой доли масла от 0,3 до 0,9. Предложены корреляционные уравнения, которые с достаточной точностью описывают давление кипения, плотность и вязкость в указанном диапазоне температур и состава смеси.

Хладон R134a, разработанный как заменитель озоноразрушающего хладона R12, обладает химической стабильностью в холодильной системе, нетоксичен, не воспламеняется во всем диапазоне температур эксплуатации. R134a представляет собой гидрофторуглерод CF₃CFH₂1,1,1,2-тетрафторэтан с потенциалом разрушения озона ODP=0 и потенциалом глобального потепления GWP=1300. Использовать его рекомендуется в крупном торговом и промышленном холодильном оборудовании, среднетемпературном торговом холодильном оборудовании, водоохладительных установках, бытовых холодильниках, системах кондиционирования воздуха в зданиях и промышленных помещениях, на холодильном транспорте, а также в качестве пропеллента в аэрозольных смесях.

Использование в современных компрессорах новых синтетических смазочных масел на полиалкиленгликольной или полиолэфирной основе тесно связано с применением новых экологически безопасных хладонов в системах охлаждения с высокими энергетическими показателями. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к холодильным компрессорам и системам, они должны смешиваться и растворяться в альтернативных хладагентах и обладать в смесях с ними достаточной величиной вязкости даже при значительном повышении температуры. Синтетические смазочные масла, в первую очередь полиолэфирные, отвечают этим требованиям и могут быть использованы в различных типах выпускаемых промышленностью компрессоров, а сведения о свойствах смесей смазка-хладагент становятся весьма важными и крайне необходимыми. Таким образом проведение исследований теплофизических свойств как отдельно масла и хладона, так и смеси масло-хладон становится актуальной задачей.

В настоящей работе продолжено проведение исследований теплофизических свойств смесей хладонов с синтетическими смазочными маслами [1–6], а именно измерений фазового равновесия жидкость-пар, плотности и вязкости смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68. Особое место в работе составила разработка корреляционных уравнений, передающих термическую и концентрационную зависимость давления кипения, плотности и вязкости масло-хладоновой смеси, основанных на полученных экспериментальных данных.

P-T-x данные о фазовом равновесии жидкость-пар были получены с помощью ячейки постоянного объема. Она размещалась в термостате и была заправлена хладоном и маслом в таком количестве, чтобы

паровое пространство верхней части ячейки было минимально. По уравнению состояния [7] рассчитывалась плотность и масса пара хладона в этом пространстве. Валовая концентрация смеси находилась по массе заправленных компонентов. Температура измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления. Давление определялось при помощи цифрового преобразователя давления.

Плотность смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68 измерена с помощью ячейки постоянного объема, изготовленной из сапфира и выдерживающей высокое давление. Объем ячейки был предварительно откалиброван по дистиллированной воде. В ячейку заправлялась заданная масса масла и хладона. Плотность определялась по прямым измерениям уровня жидкости, находящейся внутри ячейки, с помощью катетометра. Концентрация жидкой фазы отличалась от начального валового состава смеси в предположении, что в паровой фазе находился только чистый хладон, масса которого менялась с температурой, давлением и уровнем жидкости. Для расчета термодинамических свойств хладона R134a нами использовалось уравнение состояния, представленное в базе данных REFPROP [7]. Учет массы хладона в паровой фазе показал, что для экспериментальных условий влияние указанных факторов на изменение концентрации жидкой фазы пренебрежимо мало.

Вязкость измерялась методом капилляра. Истечение потока жидкости через капилляр происходило под действием небольшого перепада давления. В опытах измерялось время истечения определенного количества вещества, а также температура и давление. Погрешность измерений вязкости не превышала $\pm 1.8\%$.

В более ранних работах [8–10] представлено подробное описание схем установок для измерения равновесия жидкость-пар, плотности и вязкости, а также методик проведения опытов. При измерениях фазового равновесия жидкость-пар исследуемой смеси массив P-T-x данных получен в диапазоне температур 253 ... 373 К при давлениях от 0,047 до 3,744 МПа и массовой доли масла от 30% до 90%. Экспериментальные измерения плотности и вязкости проведены в области температур от 253 до 373 К и массовой доли масла 0,7 ... 0,9. В табл. 1 – табл. 3 приведены результаты экспериментальных измерений давления кипения P, плотности ρ и коэффициента кинематической вязкости ν смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68 при различных значениях массовой доли масла x и температуры T.

Таблица 1 – Экспериментальные значения давления кипения смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

T, К	P, МПа				
	x=0,295	x=0,498	x=0,703	x=0,803	x=0,899
253,15	0,130	0,125	0,108	0,081	0,047
273,15	0,284	0,277	0,233	0,179	0,107
293,15	0,551	0,523	0,445	0,340	0,199
313,15	0,976	0,922	0,774	0,592	0,335
333,15	1,606	1,502	1,250	0,951	0,539
353,15	2,498	2,327	1,904	1,449	0,836
373,15	3,744	3,471	2,801	2,128	1,208

Таблица 2 – Экспериментальные значения плотности смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

T, К	ρ , кг/м ³		
	x=0,697	x=0,805	x=0,897
253,15	1170	1124	1089
273,15	1148	1107	1074
293,15	1125	1089	1059
313,15	1102	1071	1044
333,15	1080	1054	1029
353,15	1058	1036	1014
373,15	1035	1018	999

Таблица 3 – Экспериментальные значения вязкости смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

T, К	ν , 10 ⁻⁶ м ² /с		
	x=0,696	x=0,804	x=0,902
253,15	157,8	503,5	1678,8
273,15	45,2	115,4	307,6
293,15	17,7	39,5	88,3

313,15	9,48	17,7	34,5
333,15	5,07	9,06	16,2
353,15	3,10	5,31	9,48
373,15	2,17	3,55	5,81

Графическая иллюстрация полученных данных показана на рис. 1 – рис. 3, где приведены диаграммы давление кипения–состав, плотность–температура и вязкость–температура. Как видно, вязкость исследуемой смеси является сложной функцией трех переменных и зависит от температуры, давления и массового состава смеси. Отметим, что для отображения изобар на диаграмме вязкость–температура, приведенной на рис. 1, использованы результаты исследования давления кипения смеси.

Приведенные ниже корреляционные уравнения получены аппроксимацией наших экспериментальных данных. Они позволяют рассчитать давление кипения, плотность и вязкость смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68 в указанных выше пределах диапазона температур и интервала массовой концентрации масла.

$$P = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^2 a_{ij} \cdot (t/100)^i \cdot x^j \quad (1),$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 b_{ij} \cdot (t/100)^i \cdot x^j \quad (2),$$

$$\log \nu = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^2 c_{ij} \cdot (t/100)^i \cdot x^j \quad (3),$$

где P – давление кипения в МПа; t – температура в °C, x – массовая доля масла, ρ – плотность в кг/м³, ν – коэффициент кинематической вязкости, 10⁻⁶ м²/с; a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} – коэффициенты полиномов, значения которых приведены в табл. 4.

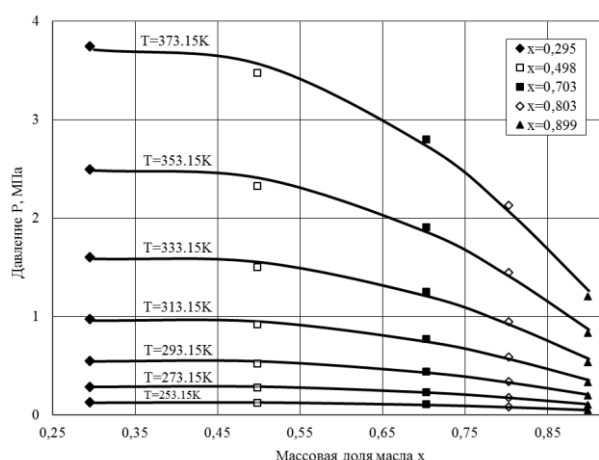


Рисунок 1 – Диаграмма P–x смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

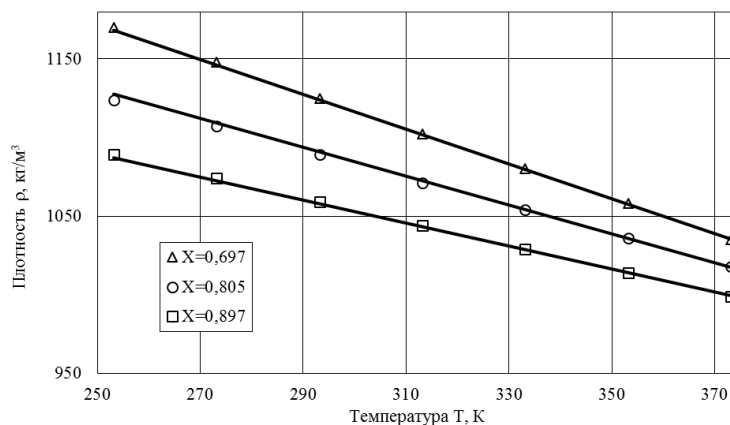


Рисунок 2 – Плотность смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

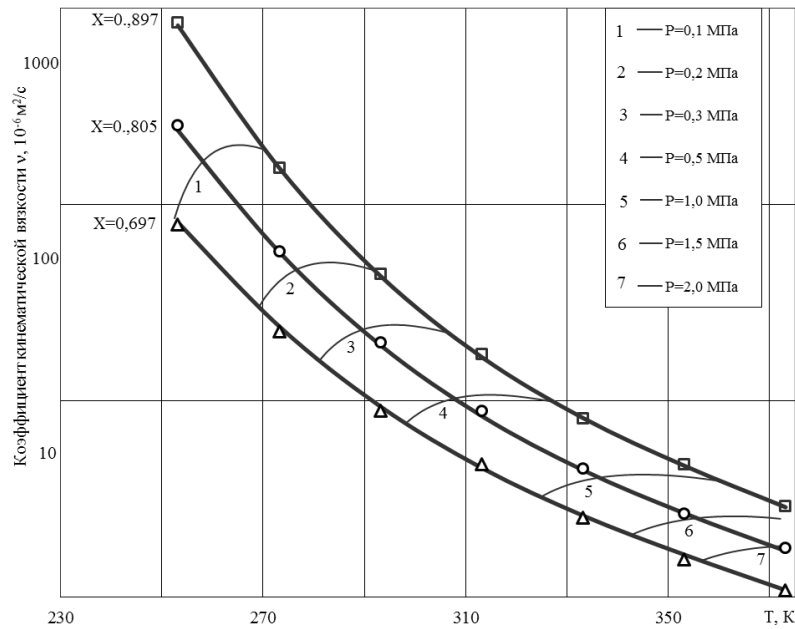


Рисунок 3 – Вязкость смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

Таблица 4 – Коэффициенты уравнений (1) – (3) для смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

Коэффициенты a_{ij} уравнения (1)				
$j \setminus i$	0	1	2	3
0	0,168383	0,612106	0,822364	1,06550
1	0,625909	2,07869	2,17383	1,10799
2	-0,766977	-2,59861	-2,86034	-2,16163
Коэффициенты b_{ij} уравнения (2)				
$j \setminus i$	0	1	–	–
0	1,40382	-0,242723	–	–
1	-0,368176	0,188526	–	–
Коэффициенты c_{ij} уравнения (3)				
$j \setminus i$	0	1	2	3
0	0,406988	-1,47045	2,65945	-2,00131
1	0,092772	1,08131	-5,41074	4,47861
2	2,46431	-3,28529	5,40390	-3,41441

Расхождения между полученными экспериментальными данными о давления кипения, плотности, а также вязкости смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68, и рассчитанными по уравнениям (1) – (3) величинами показаны на рис. 4 – рис. 6.

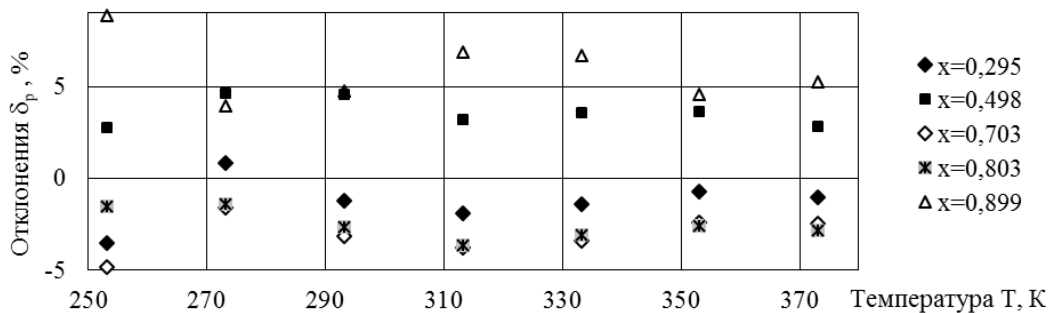


Рисунок 4 – Отклонения рассчитанных по уравнению (1) значений P от экспериментальных данных по давлению кипения смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

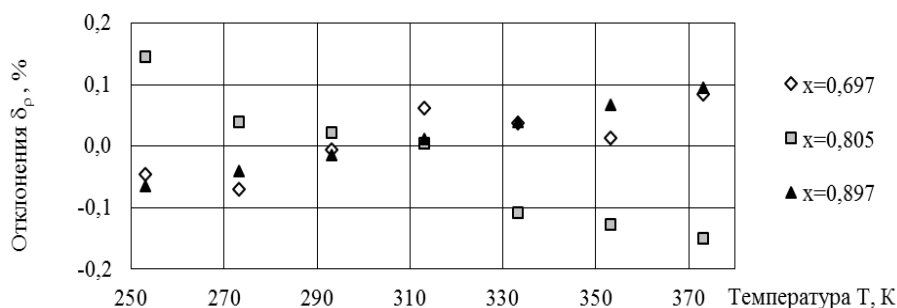


Рисунок 5 – Отклонения рассчитанных по уравнению (2) значений ρ от экспериментальных данных по плотности смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

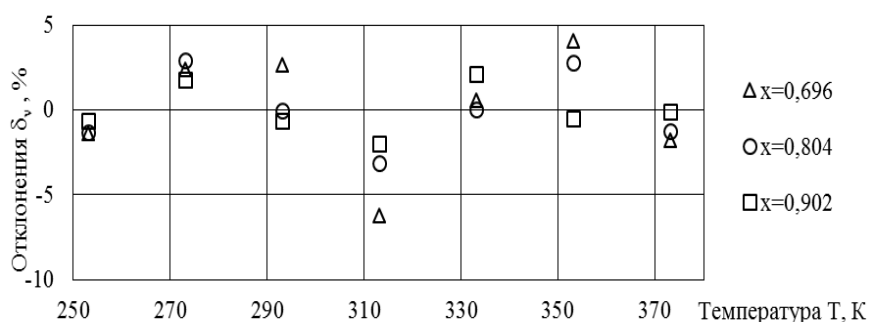


Рисунок 6 – Отклонения рассчитанных по уравнению (3) значений ν от экспериментальных данных по вязкости смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68

Проведены экспериментальные измерения: давления кипения смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68 в области температур 253 ... 373 K и массовой концентрации масла от 30 до 90%; плотности и вязкости в том же диапазоне температур и массовой доли масла 0,7 ... 0,9. Аппроксимация экспериментальных данных по давлению кипения смеси, как функции температуры и ее массового состава, уравнением (1) проведена со среднеквадратичной погрешностью 3,8% и максимальном отклонении +8,8% при минимальной температуре и максимальной концентрации масла. Зависимость плотности указанной смеси от температуры и массовой доли масла описана уравнением (2) со среднеквадратичным отклонением 0,076% и максимальном отклонении -0,149%.

Температурная и концентрационная зависимость коэффициента кинематической вязкости смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68 описана уравнением (3) со среднеквадратичным отклонением 2,4%, а максимальная погрешность составила 6,3%. Приведенные выше корреляционные зависимости позволяют проводить расчеты давления кипения, плотности и вязкости исследуемой смеси с точностью, удовлетворяющую инженерную практику. Следует отметить, что по полученным экспериментальным данным невозможно сделать определенные заключения о существовании и возможных границах области несмесимости или ограниченной растворимости для рассматриваемой смеси, так как это связано с изменением метода и диапазона измерений, и, соответственно, проведением дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапардин, Н.И. Давление кипения и вязкость смеси хладагента R407C со смазочным маслом ISO 46 [Текст] // Пищевая наука и технология. – Одесса, 2010. – №4 (13), – С. 66-68.
2. Геллер, В.З. Исследование растворимости и вязкости смеси компрессорного масла ISO 46 с хладон R404A [Электронный ресурс] / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали III Міжнародної науково-технічної конф., Миколаїв, 4-6 жовтня 2012 р. / Національний ун-т кораблебудування. – Миколаїв, 2012. – С. 201-204. – Режим доступа: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog>.
3. Лапардин, Н.И. Равновесие жидкость-пар и вязкость смеси смазочного масла ISO 170 с хладон R407C [Электронный ресурс] / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Вестн. Новгород. гос. ун-та. – Новгород, 2013. – №73, т. 2. – С. 24-27 – Режим доступа: <http://www.novsu.ru/file/1082810>.
4. Geller, V. Z. Solubility and miscibility of refrigerants R407C and R410A with synthetic compressor oils [Text] / V. Z. Geller, N. I. Lapardin // Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. – No. 52 (3). – P. 36 - 41.

5. Геллер, В.З. Вязкость и давление кипения смеси смазочного масла ISO 15 и хладагента R410A [Электронный ресурс] / В.З. Геллер, 241 Н.И. Лапардин // Инновации в судостроении и океанотехнике: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Николаев, 12-14 окт. 2016 г. / Нац. ун-т кораблестроения им. адм. Макарова. – Николаев, 2016. – [5 с.]: табл. – Библиогр.: 8 назв. – Режим доступа: <http://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/38010.pdf> .
6. Лапардин, Н.И. Равновесие жидкость-пар и вязкость смеси смазочного масла ISO 46 и хладагента R410A // Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ: сб. докл. IV Междунар. научн. конф., СПб. / ИХиБТ НИУ ИТМО. – СПб., 2017. – С. 219-226.
7. Lemmon, E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, version 8.0. [Text] / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. – 2007.
8. Bivens, D. B. Thermodynamic properties of R32/R125 mixture / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z. Geller // In Proceedings of the 4th Asian Thermophysical Conference, Japan, 1993 – P. 3295-3304.
9. Transport properties and heat transfer of alternatives for R502 and R22 [Text] / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z. Geller, M. E. Paulaitis // In Proceedings of the ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, Gaithersburg, MD, 1994 – P. 73-84.
10. Viscosity of HFC32 and HFC32 /lubricant mixtures / V. Z. Geller, M. E. Paulaitis, B. Bivens, A. Yokozeki // In Proceedings of the 12th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, CO, June 1994, P. 477-486.

УДК 621.56

FLUIDIZING APPARATUS FOR FROZEN FOOD

ФЛЮИДИЗАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

ТАМАҚ ӨНІМДЕРІН МҰЗДАТУҒА АРНАЛҒАН ФЛЮИДИЗАЦИЯЛАУ АППАРАТТАР

<p>Mustafaeva A.K.^{1a}, Cand. Tech. Sc. Kabulov B.B.^{2b}, Cand. Tech. Sc., associate professor Anuarbekova A.S.^{2c} Baitakova A.K.^{2d}</p>	<p>Мустафаева А.К.^{1а}, канд.тех.наук Кабулов Б.Б.^{2б}, канд.тех.наук, доцент Ануарбекова А.С.^{2с} Байтакова А.К.^{2д}</p>
<p>1 –Kazakh Agrotechnical University named after Seifullin Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis, 62 2 -Kazakh University of Technology and Business, Kazakhstan, 010000, Nur-Sultan, Muhamedhanov, 37A</p>	<p>1 – Казахский агротехнический университет имени Сейфуллина Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр.Женис, 62 2 –Казахский университет технологии и бизнеса, Казахстан, 010000, Нур-Султан, ул. Мухамедханова, 37А</p>
<p>E-mail: a -ayaulym.mustafa@mail.ru, b -bolatkabylov@mail.ru, c, d -aimara81@mail.ru</p>	

Abstract

The article is devoted to the process of freezing food products and using fluidization apparatus for this purpose. Fluidization apparatus are used to freeze wet small-sized products, products with delicate texture and other products. The article describes the fluidization apparatus developed in Bulgaria and Russia. These devices make it possible to freeze the product with maximum preservation of its qualities. The equipment is compact in size and allows you to quickly automate its operation.

Аннотация

Статья посвящена процессу замораживания пищевых продуктов и использования для этой цели флюидизационных аппаратов. Флюидизационные аппараты применяются для замораживания влажных мелкоштучных продуктов, продуктов с нежной консистенцией и других продуктов. В статье представлено описание флюидизационных аппаратов, разработанных в Болгарии и России. Эти аппараты дают возможность замораживания продукта с максимальным сохранением его качеств. Оборудование отличается компактными размерами и позволяет довольно быстро автоматизировать его работу.

Lapardin N.I. Liquid-vapor equilibria, density and viscosity of the mixture of refrigerant R134a with lubricating oil ISO 68 Лапардин Н.И. Фазовое равновесие жидкость-пар, плотность и вязкость смеси хладона R134a и смазочного масла ISO 68	126
Mustafaeva A.K., Kabulov B.B., Anuarbekova A.S., Baitakova A.K. Fluidizing apparatus for frozen food Мустафаева А.К., Кабулов Б.Б., Ануарбекова А.С., Байтакова А.К. Флюидизационные аппараты для замораживания пищевых продуктов Тамақ өнімдерін мұздатуға арналған флюидизациялау аппараттар	131
Korshunov A.B., Korshunov B.P. Energy-saving cooling systems with natural cold and environmentally friendly coolant Коршунов А.Б., Коршунов Б.П. Энергосберегающие охлаждающие системы с природным холодом и экологически безопасным хладоносителем	133
Ovsyannikov V.Yu., Altayuly S. The study of the concentration of curd whey by freezing Овсянников В.Ю., Алтайулы С. Исследование процесса концентрирования творожной сыворотки методом вымораживания	138
Petrov E.T., Kruglov A.A., Tsoy A.P. Aspects of reconstruction of cold supply systems for oil dewaxing plants Петров Е.Т., Круглов А.А., Цой А.П. Особенности реконструкции систем холодоснабжения установок депарафинизации масел	144
Radchenko N.I., Radchenko A.N., Tsoy A.P., Kantor S.A., Tkachenko V.S. Improving the efficiency of railway conditioners in actual climatic conditions of operation Радченко Н.И., Радченко А.Н., Цой А.П., Кантор С.А., Ткаченко В.С. Повышение эффективности железнодорожных кондиционеров в реальных климатических условиях эксплуатации	146
Rykov S.V., Kudriavtseva I.V., Sverdlov A.V., Rykov V.A. Calculation method of the phase balance line r1234yfin the temperature range from 122.6 k to 385.85 k Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Сverdlov А.В., Рыков В.А. Метод расчета линии фазового равновесия r1234yfv диапазоне температур от 122,6 к до 385,85 к	156
Radchenko R.N., Radchenko N.I., Tsoy A.P., Forduy S.G., Zubarev A.A. Utilizing the heat of gas module by an absorption lithium-bromide chiller with an ejector booster stage Радченко Р.Н., Радченко Н.И., Цой А.П., Фордуй С.Г., Зубарев А.А. Утилизация теплоты газового модуля абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной с эжекторной бустерной ступенью	164
Biletsky E.V., Petrenko E.V., Semeniuk D.P. Calculation of heat exchange during non-newtonian materials Белецкий Э.В., Петренко Е.В., Семенюк Д.П. Расчет теплообмена при течении неньютоновских материалов	173