

**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**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference
March 15-16, 2017**

Алматы, 2017

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 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта 2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплохладоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

УДК 532.133:536.71

**РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТЬ-ПАР И ВЯЗКОСТЬ СМЕСЕЙ СМАЗОЧНОГО
МАСЛА ISO 22 С ХЛАДОНОМ R404A**

Лапардин Н.И.¹, к.т.н.

Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина

E-mail: lapardina2004@mail.ru

Холодильный агент R404A относится к группе гидрофторуглеродов и представляет собой квазиазеотропную смесь (R125/R143a/R134a) с массовыми долями (44/52/4%). Простота его использования связана с тем, что разница температур кипения и конденсации не превышает 0.5 К и поэтому при утечках возможны многократные дозаправки, а эксплуатационные характеристики практически не меняются. R404A может успешно использоваться как в новом оборудовании, так и при замене хлоросодержащих углеводородов, таких как R502, при налаженном использовании существующего оборудования. Кроме того, при такой замене, как правило, масса заправки R404A меньше и, в зависимости от условий эксплуатации и конструктивных особенностей оборудования, может составлять 75% ... 90% массы R502. Немаловажно, что при такой замене температура нагнетания может быть на 5 К ниже, и положительно сказывается на срок службы компрессора. Хладон R404A рекомендован к использованию в низко- и среднетемпературном торговом холодильном оборудовании с герметичными, полугерметичными и негерметичными поршневыми компрессорами, крупном торговом и промышленном холодильном оборудовании с негерметичными поршневыми компрессорами, а также на транспорте для охлаждения или кондиционирования воздуха. Использование синтетических полиолэфирных смазочных масел в смесях с хладагентами ставит задачу исследования растворимости и вязкости этих смесей.

Настоящая работа продолжает исследование хладагентов серии R400 [1-6], посвящена измерениям фазового равновесия жидкость-пар и вязкости смеси полиолэфирного смазочного масла ISO 22 и хладона R404A. На основе полученных экспериментальных данных возможно составление аппроксимационных уравнений, позволяющих рассчитать давления кипения и коэффициент кинематической вязкости изучаемой смеси.

Данные о фазовом равновесии жидкость-пар были получены с помощью ячейки постоянного объема. Она размещалась в термостате и была заправлена маслом и хладагентом в таком количестве, чтобы паровое пространство верхней части ячейки было минимально. По уравнению состояния R404A, представленному в базе данных REFPROP [7], рассчитывалась масса паров хладагента в этом пространстве. Давление определялось при помощи цифрового преобразователя давления. Температура измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления. Валовая концентрация смеси находилась по массе заправленных компонентов.

Вязкость измерялась методом капилляра. Истечение потока жидкости через капилляр происходило под действием небольшого перепада давления. В опытах измерялись время истечения определенного количества вещества, а также температура и давление. Погрешность измерений вязкости не превышала $\pm 1.8\%$. Подробное описание схем установок для измерения равновесия жидкость-пар и вязкости, а также методик проведения опытов представлены в более ранних работах [8-10].

При измерениях фазового равновесия жидкость-пар исследуемой смеси массив P-T-x данных получен в диапазоне температур 233 ... 373 K при давлениях от 0.04 до 5.5 МПа и массовой доли масла 0.3 ... 0.9. Экспериментальные измерения вязкости проведены в области температур от 233 до 373 K и массовой доли масла от 30% до 90%. В табл. 1 и 2 приведены результаты экспериментальных измерений давления кипения P и вязкости ν смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A при различных значениях массовой доли масла x и температуры T.

Таблица – 1 Экспериментальные значения давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

T, K	P, МПа				
	x=0.303	x=0.503	x=0.697	x=0.795	x=0.905
233.15	0,124	0,117	0,097	0,076	0,044
253.15	0,295	0,278	0,228	0,177	0,101
273.15	0,580	0,544	0,440	0,338	0,192
293.15	1,039	0,966	0,771	0,589	0,334
313.15	1,724	1,592	1,252	0,948	0,536
333.15	2,703	2,479	1,919	1,444	0,813
353.15	4,156	3,783	2,884	2,149	1,206
373.15	-	5,460	4,095	3,023	1,690

В качестве графической иллюстрации полученных данных на рис. 1 - рис. 3 показаны диаграммы давление кипения–состав, давление кипения–температура и вязкость–температура. Отметим, что для отображения изобар на диаграмме вязкость–температура, приведенной на рис. 3, использованы результаты исследования давления кипения смеси. Как видно, вязкость исследуемой смеси является сложной функцией трех переменных и зависит от температуры, давления и массового состава смеси.

Таблица – 2 Экспериментальные значения вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

T, K	$\nu, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$				
	x=0.305	x=0.499	x=0.703	x=0.804	x=0.898
233.15	0.885	4.70	46.8	190	897
253.15	0.637	2.46	16.2	49.9	175
273.15	0.516	1.73	8.04	19.8	52.7
293.15	0.413	1.21	4.34	9.20	19.8
313.15	0.339	0.880	2.70	4.92	9.46
333.15	0.280	0.681	1.85	3.18	5.50
353.15	0.232	0.530	1.33	2.17	3.65
373.15	0.201	0.441	1.01	1.61	2.56

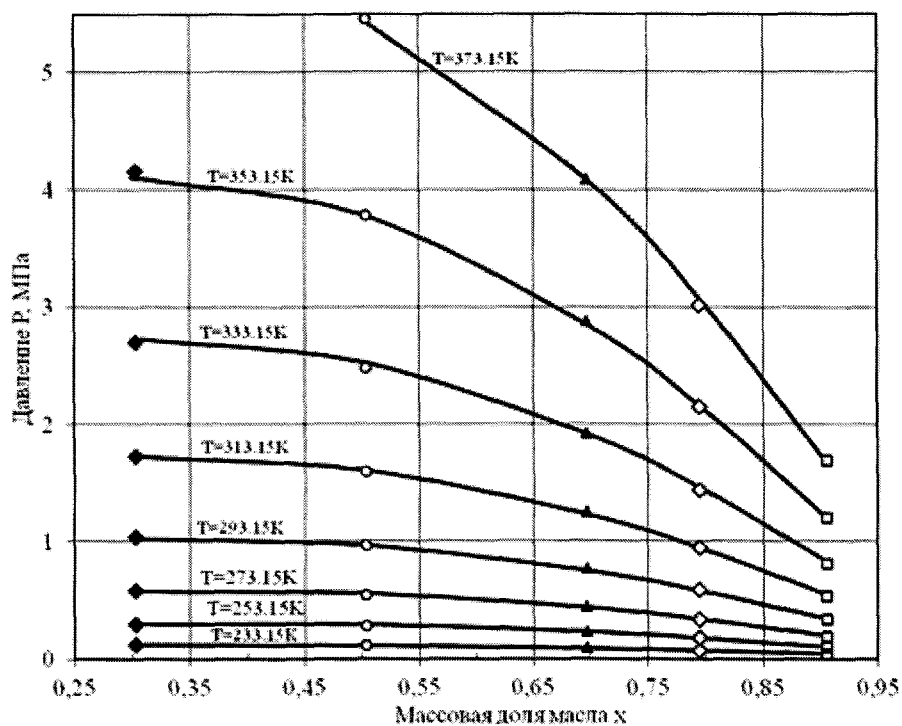


Рисунок – 1 Диаграмма P–x смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

Корреляционные зависимости

Приведенные ниже корреляционные уравнения, получены аппроксимацией наших экспериментальных данных. Они позволяют рассчитать давление кипения и вязкость смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A в указанных выше пределах диапазона температур и интервала массовой концентрации масла.

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

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

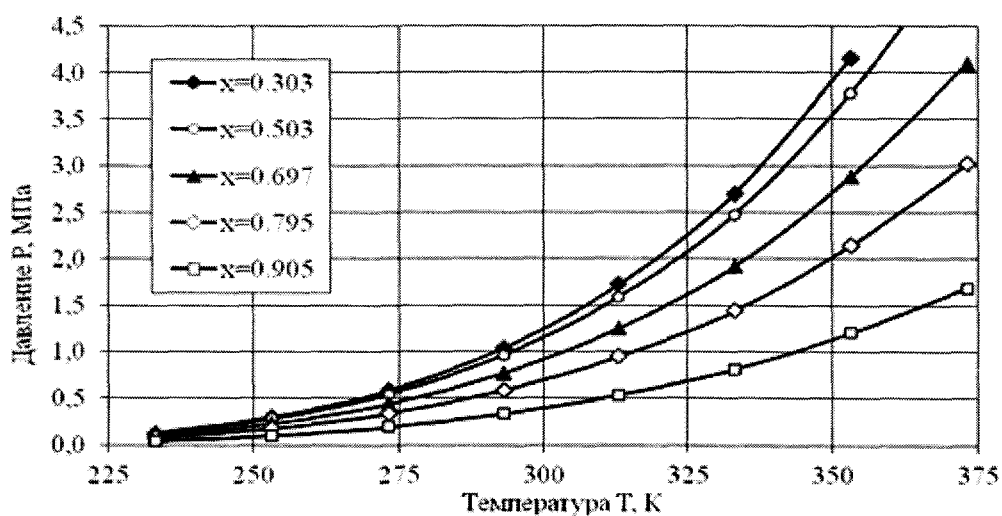


Рисунок – 2 Давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

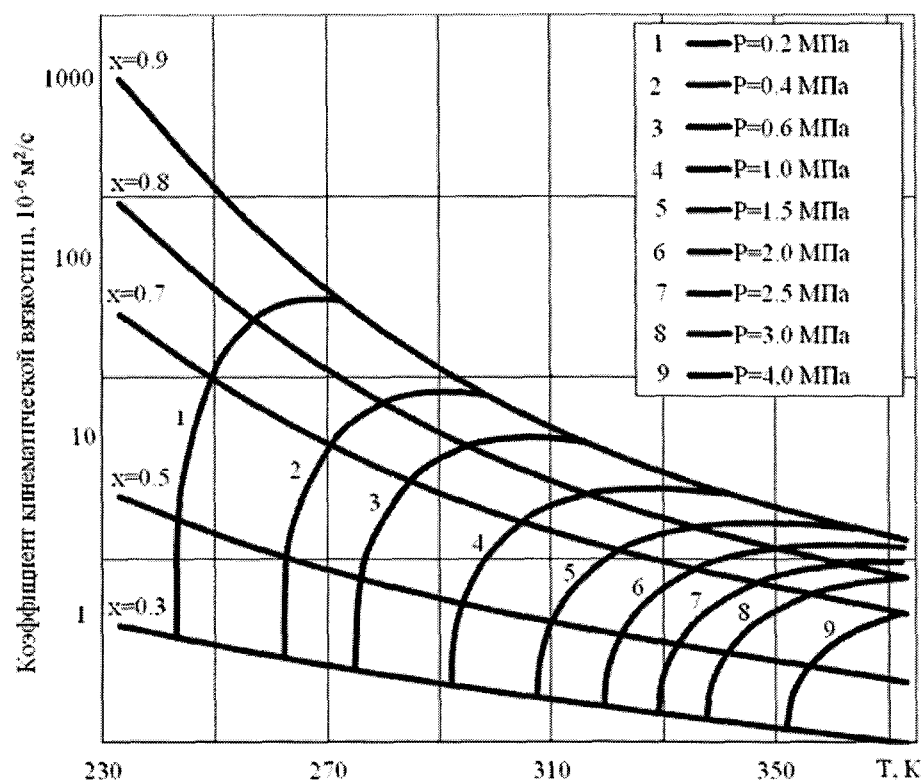


Рисунок – 3 Вязкость смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

Таблица – 3 Коэффициенты уравнений (1) и (2) для смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

значения a_{ij}					значения c_{ij}				
$j \backslash i$	0	1	2	3	$j \backslash i$	0	1	2	3
0	0.3965	1.4683	2.1738	0.8538	0	-0.7841	-0.5200	0.0083	0.1546
1	0.9800	2.0470	1.0404	2.8495	1	1.0421	1.0897	-0.1189	-0.6937
2	-1.3281	-3.3494	-3.0469	-3.8556	2	1.9241	-3.5092	2.0657	-0.0345

Расхождения между полученными экспериментальными данными о давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A, а также ее вязкости, и рассчитанными по уравнениям (1) и (2) величинами показаны на рис. 4 и рис. 5.

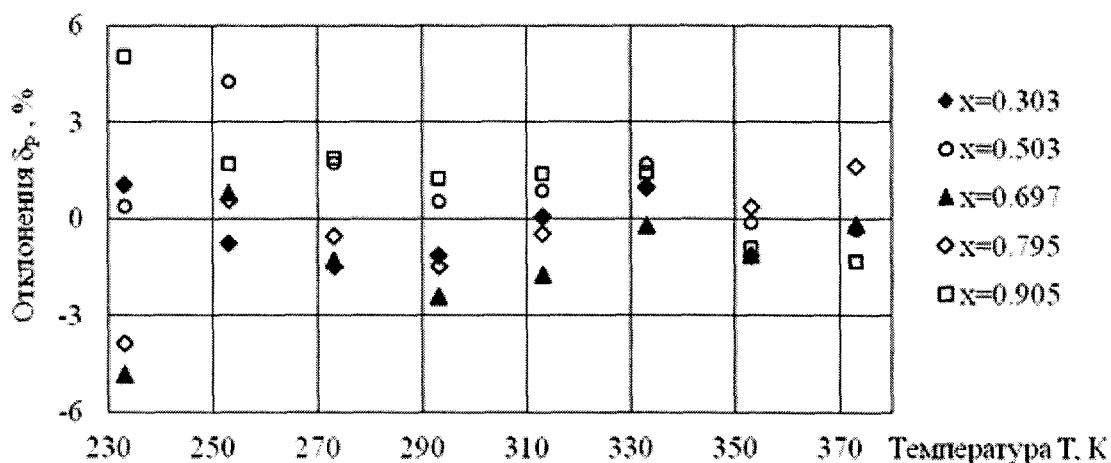


Рисунок – 4 Отклонения рассчитанных по уравнению (1) значений от экспериментальных данных по давлению кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

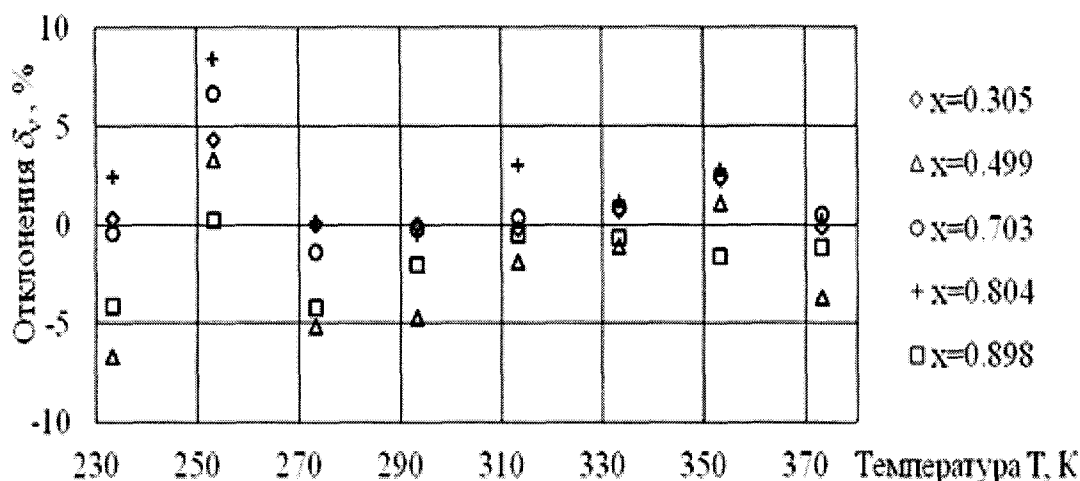


Рисунок – 5 Отклонения рассчитанных по уравнению (2) значений от экспериментальных данных по вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладагона R404A

Проведены экспериментальные измерения давление кипения и вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладагона R404A в области температур от 233 до 373 К, при давлениях до 5.5 МПа и массовой концентрации масла от 30% до 90%. Аппроксимация экспериментальных данных по давлению кипения смеси, как функции температуры и ее массового состава, уравнением (1) проведена со среднеквадратичной погрешностью 1.8% при максимальном отклонении 5.0%. Температурная и концентрационная зависимость коэффициента кинематической вязкости смеси хладагона R404A со смазочным маслом ISO 22 описана уравнением (2) со среднеквадратичным отклонением 3.0%, а максимальная погрешность составила 8.4%. Расчеты давления кипения и вязкости исследуемой смеси с точностью, удовлетворяющую инженерную практику, позволяют проводить приведенные выше корреляционные зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапардин, Н.И. Термодинамические и переносные свойства смеси R410B со смазочным маслом [Текст] / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Пищевая наука и технология. – 2009. – № 4 (9). – С. 78-81.
2. Геллер, В.З. Свойства смеси хладагента R407C со смазочным маслом CPI EXP 32 / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 24. – С. 165 - 170.
3. Лапардин, Н.И. Давление кипения и вязкость растворов смазочных масел ISO 15 и ISO 220 в хладоне R407C / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Сборник трудов конференции «Современные методы и средства исследований теплотехнических свойств веществ» - Санкт-Петербург: СПбГУНПТ, 2010. – С. 455 - 460.
4. Геллер, В.З. Исследование растворимости и вязкости смеси компрессорного масла ISO 46 с хладагоном 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>.
5. Лапардин, Н.И. Равновесие жидкость-пар и вязкость смеси смазочного масла ISO 170 с хладагоном 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>.
6. Геллер, В.З. Вязкость и давление кипения смеси смазочного масла ISO 15 и хладагента R410A / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конф., Миколаїв, 12-14 жовтня 2016 р. / Національний ун-т кораблебудування. – Миколаїв, 2016. – С. 188-190.
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 [Text] / 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 [Text] / 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.