

УДК 536.423; 536.71

М. І. Лапардін, В. З. Геллер

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна 112, Одеса, 65039, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОЇ МОДЕЛІ ТВЕРДИХ СФЕР ДЛЯ РОЗРАХУНКУ В'ЯЗКОСТІ СУМІШЕЙ МАСТИЛО-ХЛАДОН

Отримані експериментальні данні про густину та в'язкість сумішей синтетичного мастила ISO 10 з хладоном R134a у діапазоні температур від 273 до 353K та при масовій концентрації мастила від 0,7 до 1. В'язкість сумішей мастило-хладон в рідинній фазі моделюється за допомогою модифікованого метода твердих сфер. Приведено порівняння отриманих результатів розрахунку з експериментальними даними.

Ключові слова: Суміш – Температура – Густина – В'язкість – Мастило – Холодоагент

Н. И. Лапардин, В. З. Геллер

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная 112, Одесса, 65039, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ТВЕРДЫХ СФЕР ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ СМЕСЕЙ МАСЛО-ХЛАДОН

Получены экспериментальные данные о плотности и вязкости смесей синтетического смазочного масла ISO 10 с хладоном R134a в диапазоне температур от 273 до 353 K и при массовой концентрации масла от 0,7 до 1. Вязкость смесей масло-хладон в жидкой фазе моделируется с помощью модифицированного метода твердых сфер. Приведено сравнение полученных результатов расчета с экспериментальными данными.

Ключевые слова: Смесей – Температура – Плотность – Вязкость – Смазочное масло – Хладагент



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Многокомпонентные смеси холодильных агентов, составленные из озонобезопасных гидрофторуглеродов (хладонов R32, R125, R134a) и некоторых углеводородов, к 2020 году должны заменить широко применявшиеся ранее хладоны R22 и R502. Точные данные о вязкости и теплопроводности таких смесей необходимы для расчета и проектирования холодильного оборудования, в частности, конденсатора и испарителя.

Еще один аспект применения новых экологически безопасных хладагентов при проектировании холодильных компрессоров с высокими энергетическими показателями связан с использованием новых смазочных масел. Требованиям, предъявляемым к холодильным компрессорам и системам, отвечают синтетические смазочные масла и могут быть использованы в различных типах выпускаемых промышленностью компрессоров, а сведения о свойствах масло-хладоновых растворов становятся весьма важными и крайне необходимыми. Этим определяется актуальность проведения исследований термодинамических и транспортных свойств как отдельно масла и хладагента, так и смеси масло-хладагент, а также разработка методики расчета, которая позволила бы получить данные о вязкости смесей в широком диапазоне температур, давлений и концентраций.

Настоящая работа является продолжением исследований [4, 5] свойств смесей хладонов (в том числе с синтетическими смазочными маслами) и посвящена разработке модели расчета вязкости масло-хладоновых растворов на базе экспериментальных данных.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Модель твердых сфер (RHS) была положена в основу ряда успешных корреляций, предложенных за последние годы, для вязкости жидкости в широком диапазоне температур и давлений. Ассаэль и сотр. [1] модифицировали модель RHS и применили для нахождения вязкости углеводородов, включая чистые хладагенты, производные этана и метана. В работе [2] они использовали её при расчете вязкости бинарных и тройных смесей, составленных из хладонов (HFC). Блезард и Тея [3] выделили параметры этой модели для 58 полярных жидкостей, включая и хладон R134a.

Нами в более ранней работе [4] успешно использовалась модель RHS для расчета вязкости смесей хладагентов. Следующим шагом явилось исследование [5] масло-хладоновых растворов, где изложены подробности измерений. В настоящей работе в таблице 1 и таблице 2 приводятся результаты экспериментального исследования смеси смазочного масла ISO10 с хладоном R134a.

Таблиця 1 - Экспериментальные данные о плотности смесей смазочного масла ISO10 с хладоном R134a

T, K	ρ , кг/м ³					
	x=0,7	x=0,8	x=0,9	x=0,95	x=0,98	x=1
273,15	1099	1051	1016	996	986	979
293,15	1079	1035	1002	983	974	968
313,15	1058	1018	987	971	962	957
333,15	1036	1002	973	958	951	945
353,15	1013	984	958	945	938	934

Таблиця 2 - Экспериментальные данные о вязкости смесей смазочного масла ISO10 с хладоном R134a

T, K	η , 10 ⁻⁶ Па·с					
	x=0,7	x=0,8	x=0,9	x=0,95	x=0,98	x=1
273,15	7194	13446	26724	38129	47411	55053
293,15	3741	6222	10786	14406	17162	19314
313,15	2424	3696	5812	7198	8476	9504
333,15	1605	2306	3436	4134	4712	5122
353,15	1177	1663	2362	2828	3149	3415

Для корреляции вязкости жидких масло-хладоновых смесей с температурой и плотностью использована модель RHS. Экспериментальные данные о вязкости представлялись в виде приведенной вязкости η^* в соответствии с формулой $\eta^* = 6,0349 \cdot 10^8 \cdot \eta / [\rho^{2/3} M^{-1/6} (RT)^{1/2}]$, (1) где η – вязкость; ρ – плотность; M – молекулярная масса; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Модифицированная нами эмпирическая зависимость приведенной вязкости от плотности в модели твердых сфер определялась универсальной для жидкостей функцией от приведенного молярного объема $V_r = V/V_0$

$$\log_{10} \left(\frac{\eta^*}{R_\eta} \right) = \left(\frac{V_r^{-6}}{1-V_r^{-2}} - 1 \right) \cdot 0,0161 + \sum_{i=0}^7 a_i V_r^{-i}, \quad (2)$$

где $a_0 = 1,0945$; $a_1 = -9,2632$; $a_2 = 71,039$; $a_3 = -301,90$; $a_4 = 797,69$; $a_5 = -1222,0$; $a_6 = 987,56$; $a_7 = -319,46$.

Парные параметры фактор «жесткости» R_η и плотноупакованный молярный объем V_0 выделялись из экспериментальных данных для чистых жидкостей. Параметр R_η принимался как константа, а плотноупакованный молярный объем V_0 описывался как полиномиальная функция приведенной температуры $T_r = T/T_c$ (T_c – критическая температура)

$$V_0 = \sum_i b_i T_r^i, \quad (3)$$

где для хладона R134a значения параметра $R_\eta = 1,10$; и коэффициенты b_i

$b_0 = 33,314$; $b_1 = 50,691$; $b_2 = -62,398$; $b_3 = 18,387$; а для смазочного масла ISO10, соответственно, параметр $R_\eta = 1,18$ и коэффициенты b_i $b_0 = 1614,2$; $b_1 = -5387,0$; $b_2 = 9431,4$; $b_3 = -5586,3$.

Кроме того в расчетах использовались для хладона R134a величины молекулярной массы $M = 102,03$ и критической температуры $T_c = 374,21$ К. Особо отметим, что эти же параметры для масла ISO 10 были приняты $M = 700$ и $T_c = 725$ К, как оптимальные значения без обсуждения их физического смысла в данном случае.

При прогнозировании вязкости смеси масла и хладона с заданными мольными долями чистых компонентов X_i предполагалось, что смесь ведет себя как гипотетическая чистая жидкость с усредненными молекулярными параметрами по следующим правилам комбинирования

$$T_{c,mix} = \sum_i \sum_j (T_{c,i} \cdot T_{c,j})^{1/2} X_i X_j, \quad (4)$$

$$V_{0,mix} = \frac{1}{8} \sum_i \sum_j \left(V_{0,i}^{1/3} + V_{0,j}^{1/3} \right)^3 X_i X_j, \quad (5)$$

$$R_{\eta,mix} = \sum_i R_{\eta,i} X_i. \quad (6)$$

Сравнение экспериментальных данных о вязкости смеси смазочного масла ISO10 с хладоном R134a со значениями, рассчитанными по уравнениям (1-6), показано на рисунке 1. В основном отклонения находятся в диапазоне $\pm 6\%$, а в нескольких точках доходят до 10-15%.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модифицированная модель твердых сфер использовалась и в более ранней нашей работе [4] при расчете вязкости жидкости для бинарных и тройных смесей хладонов. Сравнение рассчитанных

по моделі RHS значень с експериментальними даними показало в тому випадку, що більшість відхилень знаходиться в інтервалі $\pm 5\%$, за виключенням декількох експериментальних точок, де вони доходять до 8%.

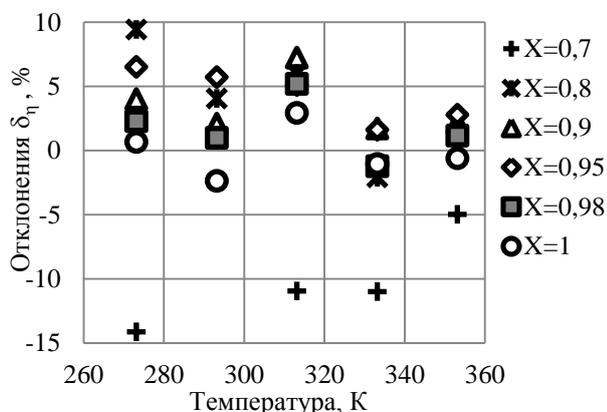


Рисунок 1 – Відхилення розрахованих по рівнянням (1-6) значень від експериментальних даних про в'язкість масло-холодонової суміші

Попытку использовать эту же модель для описания вязкости масло-холодонової суміші можна считать успішною при всій складності поставленої задачі, обумовленої тим фактом, що в'язкість масла на два-три порядки вище в'язкості холодонової суміші.

N. I. Lapardin, V. Z. Geller

Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatnaya str., Odessa, 65039, Ukraine

USE OF A MODIFIED HARD-SPHERE MODEL FOR OIL-REFRIGERANT MIXTURES VISCOSITY CALCULATION

The present work is dedicated to the development of the model for calculating the viscosity of the oil-refrigerant solutions based on experimental data. The results of experimental studies of density and viscosity of the mixture of compressor lubricant ISO 10 with the refrigerant R134a over a temperature range from 273 to 353 K and oil mass concentration from 0.7 to 1 are presented. Description of liquid viscosity at various temperatures and pressures based on the rough hard sphere (RHS) model, in recent years successfully in use for hydrocarbons, including pure refrigerants – derivatives of ethane and methane. Parameters of the modified RHS model were derived from experimental data for many polar liquids, including refrigerant R134a. The same model was used to describe the viscosity of binary and ternary refrigerant mixtures with the help of combination rules of molecular parameters for pure substances. We have modified the RHS model in order to apply it to the oil-refrigerant solutions. The obtained experimental viscosity data were introduced in the form of reduced viscosity, and the correlations of the reduced viscosity and density in the hard spheres model were determined with the empirical and universal for different fluids function of molar volume. Changes in the RHS model related to one of the combination rules of the molecular parameters and using an additional nonlinear term in the specified empirical polynomial function. As a result, the use of the hard spheres model for the viscosity of the oil-refrigerant mixtures was successful in spite of the task complexity (the viscosity of the lubricant is higher than the viscosity of the refrigerant by two to three orders of magnitude). The standard deviation for all compositions and temperatures was less than 6 %.

Density and viscosity of the mixtures of synthetic polyolester lubricant oil ISO 10 with the refrigerant R134a have been measured over a temperature range from 273 to 353 K and a range of oil mass fraction from 0.7 to 1. The viscosity of liquid mixtures of lubricant oil-refrigerant is modeled with the modified rough hard-sphere method. The results are compared with the experimental data.

Keywords: Mixture – Temperature – Density – Viscosity – Lubricant oil – Refrigerant

ЛИТЕРАТУРА

1. Assael M. J. Correlation and prediction of dense fluid transport coefficients. VII. Refrigerants [Text]/J.H. Dymond, S.K. Polimatidou // International Journal of Thermophysics. – 1995. – Vol. 16, No. 3, P. 761-772.
2. Gao X. Prediction of the thermal conductivity and viscosity of binary and ternary HFC refrigerant mixtures [Text]/X. Gao, M.J. Assael, Y. Nagasaka, A. Nagashima // International Journal of Thermophysics. – 2000. – Vol. 21, No. 1, P. 23-34.
3. Bleazard J.G. Extension of the rough hard-sphere theory for transport properties to polar liquids /J.G. Bleazard, A.S. Teja // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1996.-Vol. 35, P. 2453-2459.
4. Геллер В. З. Вязкость смесей хладагентов [Текст] / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин, В.А. Волчок, Т.И. Пивоварчук // Холодильная техника и технология. – 2005. – №.5 (97). – С.5-14.
5. Лапардин Н. И. Термодинамические и переносные свойства смеси R410В со смазочным маслом [Текст]/ Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Пищевая наука и технология.–2009. 4(9). С. 78-81.

Отримана в редакції 14.09.2015, прийнята до друку 18.12.2015

REFERENCES

1. Assael, M.J., Dymond, J.H., Polimatidou, S.K. 1995. Correlation and prediction of dense fluid transport coefficients. VII. Refrigerants. *International Journal of Thermophysics*, 16(3), 761-772. doi:10.1007/BF01438861
2. Gao, X., Assael, M.J., Nagasaka, Y., Nagashima, A. 2000. Prediction of the thermal conductivity and viscosity of binary and ternary HFC refrigerant mixtures *International Journal of Thermophysics*, 21(1), 23-34. doi: 10.1023/A:1006696518938
3. Bleazard, J.G., Bleazard, J.G., Teja, A.S. 1996 Extension of the rough hard-sphere theory for transport properties to polar liquids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35, 2453-2459. doi:10.1021/ie9507585
4. Geller, V.Z., Lapardin, N.I. Volchok V.A., Pivovarchuk, T.I. 2005. Viscosity of the refrigerant mixtures. *Kholodylnaya tekhnika i tekhnolohiya [Refrigeration Engineering and Technology]*, No.5 (97), 5–14 (in Russian).
5. Lapardin, N.I., Geller, V.Z. 2009. Thermodynamic and transport properties of mixture of R410B with lubricant oil. *Pischevaya nauka i tekhnolohiya [Food science and technology]*. No. 4 (9), 78-81 (in Russian).

Received 14 September 2015
Approved 18 December 2015
Available in Internet 28.02.2016