

УДК 62 – 714:532.13:536.23.001.24

А.С. Бойчук

Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, г. Одесса, 65029, Украина

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ХЛАДАГЕНТА R134a

Составлены уравнения для расчета вязкости и теплопроводности альтернативного хладагента R134a через переменные температуру и плотность. Коэффициенты уравнений определены методом наименьших квадратов по экспериментальным данным. Уравнения описывают вязкость в интервале температур от 248 до 439 К при давлении до 6,0 МПа и теплопроводность в интервале температур от 248 до 533 К при давлении до 60,9 МПа. Точность составленных уравнений вполне приемлема для инженерных расчетов.

Ключевые слова: Хладагент – R134a – Вязкость – Теплопроводность – Уравнения.

А.С. Бойчук

Одеський національний морський університет, вул. Мечникова, 34, м. Одеса, 65029, Україна

РІВНЯННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ В'ЯЗКОСТІ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ХОЛОДОАГЕНТУ R134a

Складені рівняння для розрахунку в'язкості та теплопровідності альтернативного холодоагенту R134a через змінні температуру та густину. Коефіцієнти рівнянь визначені методом найменших квадратів по експериментальним даним. Рівняння описують в'язкість в інтервалі температур від 248 до 439 К при тиску до 6,0 МПа та теплопровідність в інтервалі температур від 248 до 533 К при тиску до 60,9 МПа. Точність складених рівнянь цілком прийнятна для інженерних розрахунків.

Ключові слова: Холодоагент – R134a – В'язкість – Теплопровідність – Рівняння.

DOI: 10.15673/0453-8307.2/2015.39352



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

I. ВВЕДЕНИЕ

Вследствие истощения озонового слоя особый интерес вызывают альтернативные рабочие вещества холодильных установок, которые рассматриваются как заменители хлорфторуглеродов, в частности хладагентов R12 и R22. Одним из таких альтернативных рабочих веществ современных холодильных установок является R134a, озоноразрушающий потенциал которого равен нулю. Применяется в холодильной промышленности, как в чистом виде, так и в составе бинарных и тройных смесей.

В последнее время резко вырос промышленный интерес к свойствам таких веществ, таким как вязкость и теплопроводность. Данные транспортные свойства необходимы для проектирования и эффективной эксплуатации холодильных установок. Эти свойства удобно рассчитывать с помощью уравнений, составленных на основании экспериментальных данных.

Существующие уравнения для расчета вязкости и теплопроводности в широкой области параметров представлены через независимые переменные температуру T и плотность ρ [1 – 3]. В комплексе с такими уравнениями необходимо испол-

зовать надёжные уравнения состояния для расчёта плотности при известных значениях давления и температуры, соответствующих опытным данным.

II. УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ

Вязкость R134a исследована экспериментально в области параметров, важных для холодильных установок. В таблице 1 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных и их интервал по температуре и давлению.

На основе имеющихся экспериментальных данных для хладагента составлено уравнение, позволяющее рассчитать вязкость в зависимости от температуры и плотности в интервале температур от 248 до 439 К при давлении до 6,0 МПа.

Уравнение для расчета вязкости хладагента составлено в форме, которая имеет вид:

$$\eta_{\text{exp}} - \eta_0 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{i1}}{T} + a_{i2} + a_{i3} \cdot T \right) (\rho - \rho_0)^i \quad (1)$$

В уравнении (1) размерность вязкости – мкПа·с, плотности – кг/м³, температуры – К; индексом 0 обозначены свойства при атмосферном давлении.

Уравнение (1) удовлетворяет предельному условию, так как при атмосферном давлении обе его части становятся равными нулю. Для расчёта плотности R134a было использовано уравнение состояния, представленное в [4].

По экспериментальным данным [6 – 20] методом наименьших квадратов определены коэффициенты уравнения для вязкости. Оптимизация числа коэффициентов проводилась по методике, представленной в [5].

Таблица 1 – Экспериментальные данные о вязкости R134a.

Автор и источник	Число точек	Интервал параметров	
		T (К)	p (МПа)
Набизадех и соавт. [6]	41	303 – 424	0,1 – 6,4
Кумагаи и соавт. [7]	8	273 – 343	0,3 – 2,1
Оливейра и соавт. [8]	60	237 – 343	0,1 – 51,0
Ассаель и соавт. [9]	32	273 – 333	0,9 – 14,6
Диллер и соавт. [10]	93	175 – 320	0,1 – 33,7
Рипл и соавт. [11]	14	250 – 306	0,1 – 0,8
Хан и соавт. [12]	21	233 – 333	0,1 – 1,7
Падуа и соавт. [13]	37	248 – 298	0,7 – 100,1
Вильгельм и соавт. [14]	71	297 – 438	0,1 – 0,3
Падуа и соавт. [15]	5	198 – 298	0,1 – 0,7
Ассаель и соавт. [16]	22	273 – 333	0,1 – 1,5
Шибасаки и соавт. [17]	126	298 – 423	0,1 – 5,6
Оливейра и соавт. [18]	14	242 – 343	0,1 – 2,1
Лассек и соавт. [19]	91	241 – 350	0,1 – 2,5
Фрьоба и соавт. [20]	13	243 – 363	0,1 – 3,2

Входящие в (1) уравнения для вязкости η_0 и плотности ρ_0 при атмосферном давлении также составлены на основании экспериментальных данных. Уравнение для вязкости имеет вид:

$$\eta_0 = -5,8528 \cdot 10^{-4} + 4,1477 \cdot 10^{-2} \cdot T - 4,8686 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает данные о вязкости R134a при нормальном атмосферном давлении со средним квадратическим отклонением 0,68% и максимальным 1,09% в интервале температур, указанном в таблице 2.

Для расчёта плотности исследуемого хладагента при атмосферном давлении составлено следующее уравнение:

$$\rho_0 = \frac{1,1753 \cdot 10^3}{T} + \frac{2,8049 \cdot 10^4}{T^2} \quad (3)$$

В табл. 2 приведены коэффициенты уравнения (1) для расчета вязкости через переменные температуру и плотность, указаны интервалы параметров, на которые это уравнение распространяются, максимальное $\delta\eta_{\text{макс}}$ и среднее квадратическое $\delta\eta_{\text{ср}}$ отклонения экспериментальных данных от рассчитанных по уравнению.

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения (1) для расчета вязкости R134a и отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

Коэффициент	Значение
a_{11}	$2,2000 \cdot 10^2$
a_{12}	$-1,2891 \cdot 10^0$
a_{13}	$1,8416 \cdot 10^{-3}$
a_{21}	$3,9239 \cdot 10^{-2}$
ΔT , К	248 – 439
Δp , МПа	0,1 – 6,0
$\delta\eta_{\text{макс}}$, %	3,54
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	1,40

Из таблицы 2 видно, что уравнение (1) с вполне приемлемой точностью описывает данные о вязкости в области температур и давлений, характерных для современных холодильных установок.

III. УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Теплопроводность R134a исследована экспериментально в большей мере, чем вязкость. В таблице 3 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных и их интервал по температуре и давлению.

На основе имеющихся экспериментальных данных для хладагента также составлено уравнение, позволяющее рассчитать теплопроводность в зависимости от температуры и плотности в интервале температур от 248 до 533 К при давлении до 60,9 МПа.

Уравнение для расчета теплопроводности представленного хладагента составлено в форме, аналогичной (1), и имеет вид:

$$\lambda_{\text{exp}} - \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{i1}}{T} + a_{i2} + a_{i3} \cdot T \right) (\rho - \rho_0)^i \quad (4)$$

где индексом 0 обозначены свойства при атмосферном давлении. В уравнении (4) размерность теплопроводности – мВт/(м·К), плотности – кг/м³, температуры – К.

Уравнение (4) описывает регулярную часть теплопроводности и не отображает резкий рост этого свойства в критической области, однако в обычных холодильных установках процессы в этой области не протекают. Уравнение также обеспечивает предельное условие, так как при атмосферном давлении обе его части становятся равными нулю.

По экспериментальным данным [21 – 37] методом наименьших квадратов определены коэффициенты уравнений для теплопроводности. Оптимизация числа коэффициентов проводилась по той же методике, что и для вязкости.

Таблица 3 – Экспериментальные данные о теплопроводности R134a.

Автор и источник	Число точек	Интервал параметров	
		T (К)	p (МПа)
Танака и соавт. [21]	33	293 – 353	0,1 – 2,5
Лассек и соавт. [22]	215	203 – 393	0,1 – 68,2
Гросс и соавт. [23]	88	253 – 363	1,0 – 61,0
Перкинс и соавт. [24]	76	203 – 303	0,7 – 5,2
Лавренченко [25]	44	253 – 400	0,1 – 8,9
Ассаель и соавт. [26]	36	253 – 333	0,6 – 22,4
Пападаки и соавт. [27]	9	240 – 307	0,1 – 0,9
Ямамото и соавт. [28]	38	273 – 363	0,1 – 3,1
Цветков и соавт. [29]	19	170 – 290	0,1 – 0,5
Цветков и соавт. [30]	21	235 – 440	0,1 – 0,2
Хаммершмидт [31]	5	303 – 463	0,1
Ро и соавт. [32]	24	223 – 323	2,0 – 20,0
Ассаель и соавт. [33]	19	273 – 333	0,1 – 1,3
Гурова и соавт. [34]	53	213 – 293	0,4 – 21,3
Ле Неидре и соавт. [35]	543	299 – 533	0,1 – 50,0
Ле Неидре и соавт. [36]	733	299 – 516	0,1 – 21,0
Багинский и соавт. [37]	116	296 – 355	0,7 – 4,1

Входящее в (4) уравнение для расчета теплопроводности при атмосферном давлении имеет вид:

$$\lambda_0 = -4,9949 \cdot 10^{-3} \cdot T + 2,2339 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 1,9038 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 \quad (5)$$

Уравнение описывает данные о теплопроводности R134a при нормальном атмосферном давлении в интервале температур, указанном в таблице 4, со средним квадратическим отклонением 0,54% и максимальным $-2,23\%$.

В таблице 4 приведены коэффициенты уравнения (4) для расчета теплопроводности через переменные температуру и плотность, указаны интервалы параметров, на которые это уравнение распространяется, максимальное $\delta\lambda_{\max}$ и среднее квадратическое $\delta\lambda_{\text{ср}}$ отклонения экспериментальных данных от рассчитанных по уравнению.

Таблица 4 - Коэффициенты уравнения (4) для расчета теплопроводности R134a и отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

Коэффициент	Значение
a_{11}	$1,9555 \cdot 10^1$
a_{12}	$-2,2361 \cdot 10^{-2}$
a_{13}	$3,9502 \cdot 10^{-5}$
a_{21}	$9,8609 \cdot 10^{-4}$
ΔT , К	248 – 533
Δp , МПа	0,1 – 60,9
$\delta\lambda_{\max}$, %	3,23
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %	1,72

Из таблицы 4 видно, что уравнение (4) с достаточной точностью описывает данные о теплопроводности в области температур и давлений, превышающих характерные для современных холодильных установок.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Составленные уравнения для расчета вязкости и теплопроводности хладагента R134a через независимые переменные температуру и плотность в комплексе с надежным уравнением состояния описывают накопленные опытные данные с точностью, соответствующей точности эксперимента, что позволяет рекомендовать их для инженерных расчетов холодильных установок и при составлении уравнений вязкости и теплопроводности смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Голубев И.Ф.** Вязкость газов и газовых смесей. - М.: Физматгиз, 1959. – 377 с.
2. **Алтунин В.В.** Теплофизические свойства двуокиси углерода. - М.: Изд. стандартов, 1975. – 551с.
3. **Варгафтик Н.Б., Филиппов Л.П., Тарзиманов А.А., Тоцкий Е.Е.** Справочник по теплопроводности жидкостей и газов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

4. **Tillner-Roth R., Baehr H.D.** An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 to 455 K and Pressure up to 70 MPa // *J. Phys. Chem. Ref. Data.* – 1994. – V.23. – № 5. – P. 657 – 729. doi: 10.1063/1.555958
5. **Вассерман А.А., Крейзерова А.Я.** Оптимизация числа коэффициентов уравнения состояния. // *Теплофизика высоких температур.* – 1978. – Т. 6. – № 6. – С. 1185 – 1188.
6. **Nabizadeh H., Mayinger F.** Viscosity of Gaseous R123, R134a and R142b // Paper presented on 12th European Conference on Thermophysical Properties (1990), Vienna, Austria.
7. **Kumagai A., Takahashi S.** Viscosity of Saturated Liquid Fluorocarbon Refrigerants from 273 to 353 K // *Int. J. Thermophys.* – 1991. – V.12. – № 1. – P. 105 – 117. doi: 10.1007/bf00506125
8. **Oliveira C.M.B.P., Wakeham W.A.** The Viscosity of Liquid R134a // *Int. J. Thermophys.* – 1993. – V.14. – № 1. – P. 33 – 44. doi: 10.1007/bf00522659
9. **Assael M.J., Dymond J.H., Polimatiidou S.K.** Measurements of the Viscosity of R134a and R32 in the Temperature Range 270-340 K at Pressures up to 20 MPa // *Int. J. Thermophys.* – 1994. – V.15. – № 4. – P. 591 – 601. doi: 10.1007/bf01563789
10. **Diller D.E., Aragon A.S., Laesecke A.** Measurements of the Viscosities of Saturated and Compressed Liquid 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a), 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane (R123) and 1,1-dichloro-1-fluoroethane (R141b) // *Fluid Phase Equilibria.* – 1993. – V.88. – P. 251 – 262. doi: 10.1016/0378-3812(93)87116-i
11. **Ripple D., Matar O.** The Viscosity of the Saturated Liquid Phase of Six Halogenated Compounds and Three Mixtures // *J. Chem. Eng. Data.* – 1993. – V.38. – P. 560 – 564. doi: 10.1021/je00012a021
12. **Han L., Zhu M., Li X., Luo D.** Viscosity of Saturated Liquid for 1,1,1,2-Tetrafluoroethane // *J. Chem. Eng. Data.* – 1995. – V.40. – P. 650 – 652. doi: 10.1021/je00019a026
13. **Padua A.A.H., Fareleira J.M.N.A., Calado J.C.G.** Density and Viscosity Measurements of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) from 199 K to 298 K and up to 100 MPa // *J. Chem. Eng. Data.* – 1996. – V.41. – P. 731 – 735. doi: 10.1021/je9501954
14. **Wilhelm J., Vogel E.** Gas-phase viscosity of the alternative refrigerant R134a at low densities // *Fluid Phase Equilibria.* – 1996. – V.125. – P. 257 – 266. doi: 10.1016/s0378-3812(96)03082-8
15. **Padua A.A.H., Fareleira J.M.N.A., Calado J.C.G., Wakeham, W.A.** Validation of an Accurate Vibrating-Wire Densimeter: Density and Viscosity of Liquids Over Wide Ranges of Temperature and Pressure // *Int. J. Thermophys.* – 1996. – V.17. – № 4. – P. 781 – 802. doi: 10.1007/bf01439190
16. **Assael M.J., Polimatiidou S.K.** Measurements of the Viscosity of Refrigerants in the Vapor Phase // *Int. J. Thermophys.* – 1997. – V.18. – № 2. – P. 353 – 366. doi: 10.1007/bf02575166
17. **Shibasaki-Kitakawa N., Takahashi M., Yokoyama C.** Viscosity of Gaseous HFC-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) Under High Pressures // *Int. J. Thermophys.* – 1998. – V.19. – № 5. – P. 1285 – 1295. doi: 10.1023/a:1021919215793
18. **Oliveira C.M.B.P., Wakeham W.A.** Viscosity of R134a, R32, and R125 at Saturation // *Int. J. Thermophys.* – 1999. – V.20. – № 2. – P. 365 – 373. doi: 10.1023/a:1022640617694
19. **Laesecke A., Luddecke T.O.D., Hafer R.F., Morris D.J.** Viscosity Measurements of Ammonia, R32, and R134a. Vapor Buoyancy and Radial Acceleration in Capillary Viscometers // *Int. J. Thermophys.* – 1999. – V.20. – № 2. – P. 401 – 434. doi: 10.1023/a:1022644718603
20. **Froba A.P., Will S., Leipertz A.** Saturated Liquid Viscosity and Surface Tension of Alternative Refrigerants // *Int. J. Thermophys.* – 2000. – V.21. – № 6. – P. 1225 – 1253. doi: 10.1023/a:1006689724974
21. **Tanaka Y., Nakata M., Makita T.** Thermal Conductivity of Gaseous HFC-134a, HFC-143a, HCFC-141b, and HCFC-142b // *Int. J. Thermophys.* – 1991. – V.12. – № 6. – P. 949 – 963. doi: 10.1007/bf00503512
22. **Laesecke A., Perkins R.A., Nieto de Castro C.A.** Thermal conductivity of R134a // *Fluid Phase Equilibria.* – 1992. – V.80. – P. 263 – 274. doi: 10.1016/0378-3812(92)87073-v
23. **Gross U., Song Y.W., Hahne E.** Thermal Conductivity of the New Refrigerants R134a, R152a, and R123 Measured by the Transient Hot-Wire Method // *Int. J. Thermophys.* – 1992. – V.13. – № 6. – P. 957 – 983. doi: 10.1007/bf01141209
24. **Perkins R.A., Laesecke A., Nieto de Castro C.A.** Polarized Transient Hot Wire Thermal Conductivity Measurements // *Fluid Phase Equilibria.* – 1992. – V.80. – P. 275 – 286. doi: 10.1016/0378-3812(92)87074-w
25. **Lavrenchenko G.K., Ruvinskij G.Ya., Iljushenko S.V., Kanaev V.V.** Thermophysical Properties of Refrigerant R134a // *Int. J. Refrigeration.* – 1992. – V.15. – № 6. – P. 386 – 392. doi: 10.1016/0140-7007(92)90023-n
26. **Assael M.J., Karagiannidis E.** Measurements of the Thermal Conductivity of R22, R123, and R134a in the Temperature Range 250-340 K at Pressures up to 30 MPa // *Int. J. Thermophys.* – 1993. – V.14. – № 2. – P. 183 – 197. doi: 10.1007/bf00507807
27. **Papadaki M., Schmitt M., Stephan K., Taxis B., Wakeham W.A.** Thermal Conductivity of R134a and R141b Within the Temperature Range 240-307 K at the Saturation Vapor Pressure // *Int. J. Thermophys.* – 1993. – V.14. – № 2. – P. 173 – 181. doi: 10.1007/bf00507806
28. **Yamamoto R., Matsuo S., Tanaka Y.** Thermal Conductivity of Halogenated Ethanes, HFC-134a, HCFC-123, and HCFC-141b // *Int. J. Thermophys.* – 1993. – V.14. – № 1. – P. 79 – 90. doi: 10.1007/bf00522663
29. **Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A., Asambaev A.G.** Thermal Conductivity of Refrigerants R123, R134a, and R125 at Low Temperatures // *Int. J. Thermophys.* – 1994. – V.15. – № 2. – P. 203 – 214. doi: 10.1007/bf01441582
30. **Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A., Asambaev A.G.** Experimental study and correlation of the thermal

conductivity of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a) in the rarefied gas state // *Int. J. Refrigeration*. – 1995. – V.18. – № 6. – P. 373 – 377.

doi: 10.1016/0140-7007(95)98159-i

31. **Hammerschmidt U.** Thermal Conductivity of a Wide Range of Alternative Refrigerants Measured with an Improved Guarded Hot-Plate Apparatus // *Int. J. Thermophysics*. – 1995. – V.16. – № 5. – P. 1203 – 1211. doi: 10.1007/bf02081288

32. **Ro S.T., Kim J.Y., Kim D.S.** Thermal Conductivity of R32 and Its Mixture with R134a // *Int. J. Thermophysics*. – 1995. – V.16. – № 5. – P. 1193 – 1201. doi: 10.1007/bf02081287

33. **Assael M.J., Malamataris N., Karagiannidis L.** Measurements of the Thermal Conductivity of Refrigerants in the Vapor Phase // *Int. J. Thermophysics*. – 1997. – V.18. – № 2. – P. 341 – 352. doi: 10.1007/bf02575165

34. **Gurova A.N., Mardolcar U.V., Nieto de Castro**

C.A. The Thermal Conductivity of Liquid 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC 134a) // *Int. J. Thermophysics*. – 1997. – V.18. – № 5. – P. 1077 – 1087. doi: 10.1007/bf02575250

doi: 10.1007/bf02575250

35. **Le Neindre B., Garrabos Y.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Temperature Range from 300 to 530 K and at Pressures up to 50 MPa // *Int. J. Thermophysics*. – 1999. – V.20. – № 5. – P. 1379 – 1401. doi: 10.1023/a:1021480803361

36. **Le Neindre B., Garrabos Y., Gumerov F., Sabirianov A.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Supercritical Region // *J. Chem. Eng. Data*. – 2009. – V.54. – P. 2678 – 2688. doi: 10.1021/je900210h

37. **Baginsky A.V., Shipitsyna A.S.** Thermal conductivity and thermal diffusivity of the R134a refrigerant in the liquid state // *Thermophysics and Aeromechanics*. – 2009. – V.16. – № 2. – P. 267 – 273. doi: 10.1134/s0869864309020115

A.S. Boychuk

Odessa National Maritime University, 34 Mechnikova str., Odessa, 65029, Ukraine

EQUATIONS FOR REFRIGERANT R134a VISCOSITY AND THERMAL CONDUCTIVITY CALCULATION

Equations for alternative refrigerant R134a viscosity and thermal conductivity calculation expressed in terms of independent variables, such as temperature and density are worked out. Equation coefficients are determined by the least square technique according to the experimental data. The equations describe viscosity at temperature ranging from 248 to 439 K at a pressure up to 6,0 MPa and thermal conductivity at temperature ranging from 248 to 533 K at a pressure up to 60,9 MPa. The composed equations accuracy is quite acceptable for the engineering calculations.

Keywords: Refrigerant – R134a – Viscosity – Thermal conductivity – Equations.

REFERENCES

1. **Golubev I.F.** Vjazkost' gazov i gazovyh smesej. – M.: Fizmatgiz, 1959. – 377 c.

2. **V.V. Altunin.** Teplofizicheskie svoistva dvoukisi ugleroda. – M.: Izd. Standartov, 1975. – 551 p.

3. **N.B. Vargaftik, L.P. Filippov, A.A. Tarzimanov, E.E. Tockij.** Spravochnik po teploprovodnosti zhidkostej i gazov. – M.: Energoatomizdat, 1990. – 352 p.

4. **Tillner-Roth R., Baehr H.D.** An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 to 455 K and Pressure up to 70 MPa // *J. Phys. Chem. Ref. Data*. – 1994. – V.23. – № 5. – P. 657 – 729. doi: 10.1063/1.555958

5. **A.A. Vasserman, A.Y. Kreizerova.** Optimizaciya chisla coefficientov uravneniya sostoyaniya. // *Teplofizika vysokih temperatur*. – 1978. – T. 6. – № 6. – C. 1185 – 1188.

6. **Nabizadeh H., Mayinger F.** Viscosity of Gaseous R123, R134a and R142b // Paper presented on 12th European Conference on Thermophysical Properties (1990), Vienna, Austria.

7. **Kumagai A., Takahashi S.** Viscosity of Saturated Liquid Fluorocarbon Refrigerants from 273 to 353 K

// *Int. J. Thermophysics*. – 1991. – V.12. – № 1. – P. 105 – 117. doi: 10.1007/bf00506125

8. **Oliveira C.M.B.P., Wakeham W.A.** The Viscosity of Liquid R134a // *Int. J. Thermophysics*. – 1993. – V.14. – № 1. – P. 33 – 44. doi: 10.1007/bf00522659

9. **Assael M.J., Dymond J.H., Polimatidou S.K.** Measurements of the Viscosity of R134a and R32 in the Temperature Range 270-340 K at Pressures up to 20 MPa // *Int. J. Thermophysics*. – 1994. – V.15. – № 4. – P. 591 – 601. doi: 10.1007/bf01563789

10. **Diller D.E., Aragon A.S., Laesecke A.** Measurements of the Viscosities of Saturated and Compressed Liquid 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a), 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane (R123) and 1,1-dichloro-1-fluoroethane (R141b) // *Fluid Phase Equilibria*. – 1993. – V.88. – P. 251 – 262. doi: 10.1016/0378-3812(93)87116-i

11. **Ripple D., Matar O.** The Viscosity of the Saturated Liquid Phase of Six Halogenated Compounds and Three Mixtures // *J. Chem. Eng. Data*. – 1993. – V.38. – P. 560 – 564. doi: 10.1021/je00012a021

12. **Han L., Zhu M., Li X., Luo D.** Viscosity of Saturated Liquid for 1,1,1,2-Tetrafluoroethane // *J. Chem. Eng. Data*. – 1995. – V.40. – P. 650 – 652. doi: 10.1021/je00019a026

13. **Padua A.A.H., Fareleira J.M.N.A., Calado**

- J.C.G.** Density and Viscosity Measurements of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) from 199 K to 298 K and up to 100 MPa // *J. Chem. Eng. Data.* – 1996. – V.41. – P. 731 – 735. doi: 10.1021/jc9501954
14. **Wilhelm J., Vogel E.** Gas-phase viscosity of the alternative refrigerant R134a at low densities // *Fluid Phase Equilibria.* – 1996. – V.125. – P. 257 – 266. doi: 10.1016/s0378-3812(96)03082-8
15. **Padua A.A.H., Fareleira J.M.N.A., Calado J.C.G., Wakeham W.A.** Validation of an Accurate Vibrating-Wire Densimeter: Density and Viscosity of Liquids Over Wide Ranges of Temperature and Pressure // *Int. J. Thermophysics.* – 1996. – V.17. – № 4. – P. 781 – 802. doi: 10.1007/bf01439190
16. **Assael M.J., Polimatidou S.K.** Measurements of the Viscosity of Refrigerants in the Vapor Phase // *Int. J. Thermophysics.* – 1997. – V.18. – № 2. – P. 353 – 366. doi: 10.1007/bf02575166
17. **Shibasaki-Kitakawa N., Takahashi M., Yokoyama C.** Viscosity of Gaseous HFC-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) Under High Pressures // *Int. J. Thermophysics.* – 1998. – V.19. – № 5. – P. 1285 – 1295. doi: 10.1023/a:1021919215793
18. **Oliveira C.M.B.P., Wakeham W.A.** Viscosity of R134a, R32, and R125 at Saturation // *Int. J. Thermophysics.* – 1999. – V.20. – № 2. – P. 365 – 373. doi: 10.1023/a:1022640617694
19. **Laesecke A., Luddecke T.O.D., Hafer R.F., Morris D.J.** Viscosity Measurements of Ammonia, R32, and R134a. Vapor Buoyancy and Radial Acceleration in Capillary Viscometers // *Int. J. Thermophysics.* – 1999. – V.20. – № 2. – P. 401 – 434. doi: 10.1023/a:1022644718603
20. **Froba A.P., Will S., Leipertz A.** Saturated Liquid Viscosity and Surface Tension of Alternative Refrigerants // *Int. J. Thermophysics.* – 2000. – V.21. – № 6. – P. 1225 – 1253. doi: 10.1023/a:1006689724974
21. **Tanaka Y., Nakata M., Makita T.** Thermal Conductivity of Gaseous HFC-134a, HFC-143a, HCFC-141b, and HCFC-142b // *Int. J. Thermophysics.* – 1991. – V.12. – № 6. – P. 949 – 963. doi: 10.1007/bf00503512
22. **Laesecke A., Perkins R.A., Nieto de Castro C.A.** Thermal conductivity of R134a // *Fluid Phase Equilibria.* – 1992. – V.80. – P. 263 – 274. doi: 10.1016/0378-3812(92)87073-v
23. **Gross U., Song Y.W., Hahne E.** Thermal Conductivity of the New Refrigerants R134a, R152a, and R123 Measured by the Transient Hot-Wire Method // *Int. J. Thermophysics.* – 1992. – V.13. – № 6. – P. 957 – 983. doi: 10.1007/bf01141209
24. **Perkins R.A., Laesecke A., Nieto de Castro C.A.** Polarized Transient Hot Wire Thermal Conductivity Measurements // *Fluid Phase Equilibria.* – 1992. – V.80. – P. 275 – 286. doi: 10.1016/0378-3812(92)87074-w
25. **Lavrenchenko G.K., Ruvinskij G.Ya., Iljushenko S.V., Kanaev V.V.** Thermophysical Properties of Refrigerant R134a // *Int. J. Refrigeration.* – 1992. – V.15. – № 6. – P. 386 – 392. doi: 10.1016/0140-7007(92)90023-n
26. **Assael M.J., Karagiannidis E.** Measurements of the Thermal Conductivity of R22, R123, and R134a in the Temperature Range 250-340 K at Pressures up to 30 MPa // *Int. J. Thermophysics.* – 1993. – V.14. – № 2. – P. 183 – 197. doi: 10.1007/bf00507807
27. **Papadaki M., Schmitt M., Stephan K., Taxis B., Wakeham W.A.** Thermal Conductivity of R134a and R141b Within the Temperature Range 240-307 K at the Saturation Vapor Pressure // *Int. J. Thermophysics.* – 1993. – V.14. – № 2. – P. 173 – 181. doi: 10.1007/bf00507806
28. **Yamamoto R., Matsuo S., Tanaka Y.** Thermal Conductivity of Halogenated Ethanes, HFC-134a, HCFC-123, and HCFC-141b // *Int. J. Thermophysics.* – 1993. – V.14. – № 1. – P. 79 – 90. doi: 10.1007/bf00522663
29. **Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A., Asambaev A.G.** Thermal Conductivity of Refrigerants R123, R134a, and R125 at Low Temperatures // *Int. J. Thermophysics.* – 1994. – V.15. – № 2. – P. 203 – 214. doi: 10.1007/bf01441582
30. **Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A., Asambaev A.G.** Experimental study and correlation of the thermal conductivity of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a) in the rarefied gas state // *Int. J. Refrigeration.* – 1995. – V.18. – № 6. – P. 373 – 377. doi: 10.1016/0140-7007(95)98159-i
31. **Hammerschmidt U.** Thermal Conductivity of a Wide Range of Alternative Refrigerants Measured with an Improved Guarded Hot-Plate Apparatus // *Int. J. Thermophysics.* – 1995. – V.16. – № 5. – P. 1203 – 1211. doi: 10.1007/bf02081288
32. **Ro S.T., Kim J.Y., Kim D.S.** Thermal Conductivity of R32 and Its Mixture with R134a // *Int. J. Thermophysics.* – 1995. – V.16. – № 5. – P. 1193 – 1201. doi: 10.1007/bf02081287
33. **Assael M.J., Malamataris N., Karagiannidis L.** Measurements of the Thermal Conductivity of Refrigerants in the Vapor Phase // *Int. J. Thermophysics.* – 1997. – V.18. – № 2. – P. 341 – 352. doi: 10.1007/bf02575165
34. **Gurova A.N., Mardolcar U.V., Nieto de Castro C.A.** The Thermal Conductivity of Liquid 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC 134a) // *Int. J. Thermophysics.* – 1997. – V.18. – № 5. – P. 1077 – 1087. doi: 10.1007/bf02575250
35. **Le Neindre B., Garrabos Y.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Temperature Range from 300 to 530 K and at Pressures up to 50 MPa // *Int. J. Thermophysics.* – 1999. – V.20. – № 5. – P. 1379 – 1401. doi: 10.1023/a:1021480803361
36. **Le Neindre B., Garrabos Y., Gumerov F., Sabirianov A.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Supercritical Region // *J. Chem. Eng. Data.* – 2009. – V.54. – P. 2678 – 2688. doi: 10.1021/jc900210h
37. **Baginsky A.V., Shipitsyna A.S.** Thermal conductivity and thermal diffusivity of the R134a refrigerant in the liquid state // *Thermophysics and Aeromechanics.* – 2009. – V.16. – № 2. – P. 267 – 273. doi: 10.1134/s0869864309020115

Отримана в редакції 12.01.2015, прийнята до друку 03.03.2015