

УДК 62 – 714:532.13:536.23.001.24

**А.С. Бойчук**

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

**УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ R32, R125 и R134a**

*Составлены уравнения для расчета вязкости и теплопроводности альтернативных хладагентов R32, R125 и R134a через переменные температуру и давление. Коэффициенты уравнений определены методом наименьших квадратов по экспериментальным и расчетным данным. Уравнения описывают вязкость газа в интервале температур от 298 до 423 К при давлении до 5,5 МПа для R32, до 3,7 МПа для R125 и до 3,9 МПа для R134a. Теплопроводность газа описана в интервале температур от 283 до 434 К при давлении до 5,0 МПа для R32, от 264 до 354 К при давлении до 2,8 МПа для R125 и от 293 до 515 К при давлении до 2,8 МПа для R134a. Точность составленных уравнений вполне приемлема для инженерных расчетов.*

**Ключевые слова:** Хладагенты – R32 – R125 – R134a – Газ – Вязкость – Теплопроводность – Уравнения.

**А.С. Бойчук**

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

**РІВНЯННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ В'ЯЗКОСТІ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ХОЛОДОАГЕНТІВ R32, R125 и R134a**

*Складені рівняння для розрахунку в'язкості та теплопровідності альтернативних холодоагентів R32, R125 та R134a через змінні температуру та тиск. Коефіцієнти рівнянь визначені методом найменших квадратів по експериментальним та розрахунковим даним. Рівняння описують в'язкість газу в інтервалі температур від 298 до 423 К при тиску до 5,5 МПа для R32, до 3,7 МПа для R125 та до 3,9 МПа для R134a. Теплопровідність газу описана в інтервалі температур від 283 до 434 К при тиску до 5,0 МПа для R32, від 264 до 354 К при тиску до 2,8 МПа для R125 та від 293 до 515 К при тиску до 2,8 МПа для R134a. Точність складених рівнянь цілком прийнятна для інженерних розрахунків.*

**Ключові слова:** Холодоагенти – R32 – R125 – R134a – Газ – В'язкість – Теплопровідність – Рівняння.

**A.S. Boychuk**

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

**EQUATIONS FOR CALCULATION REFRIGERANTS R32, R125 и R134a VISCOSITY AND THERMAL CONDUCTIVITY**

*Equations for viscosity and thermal conductivity of alternative refrigerants R32, R125 and R134a are made by temperature and pressure variables. Coefficients are determined from experimental and calculated data by means of least square method. Equations describe gas viscosity in temperature range from 298 to 423 K at pressure up to 5,5 MPa for R32, up to 3,7 MPa for R125 and up to 3,9 MPa for R134a. Gas thermal conductivity is described in temperature range from 283 to 434 K at pressure up to 5,0 MPa for R32, from 264 to 354 K at pressure up to 2,8 MPa for R125 and from 293 to 515 K at pressure up to 2,8 MPa for R134a. The precision of composed equations is quite acceptable for the engineering calculations.*

**Keywords:** Refrigerants – R32 – R125 – R134a – Gas – Viscosity – Thermal conductivity – Equations.

**I. ВВЕДЕНИЕ**

Хладагенты R32, R125 и R134a применяются в холодильной промышленности, как в чистом виде, так и в составе бинарных и тройных смесей. Они отвечают базовым требованиям для рабочих веществ и рассматриваются как заменители хладагентов R12 и R22. Озоноразрушающий потенциал указанных рабочих веществ холодильных устано-

вок равен нулю. Для проектирования и эффективной эксплуатации таких установок необходимы данные о вязкости и теплопроводности хладагентов. Эти свойства удобно рассчитывать с помощью уравнений, составленных на основании экспериментальных данных.

Существующие уравнения для расчета вязкости и теплопроводности газов представлены через независимые переменные температуру  $T$  и плот-

ность  $\rho$  [1 – 5]. Однако при расчетах различных процессов чаще в качестве исходных параметров задаются температура и давление  $p$ , которые непосредственно определяются при измерении вязкости и теплопроводности. Поэтому для практики желательно представить уравнения для расчета вязкости и теплопроводности веществ через независимые переменные температуру и давление.

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На основе имеющихся экспериментальных данных для хладагентов составлены уравнения, позволяющие рассчитать вязкость газа в зависимости от температуры и давления в интервале температур от 298 до 423 К при давлении до 5,5 МПа для R32, до 3,7 МПа для R125 и до 3,9 МПа для R134a.

Уравнение для расчета вязкости через переменные температуру и давление, по аналогии с уравнением, полученным в [6], имеет вид

$$\eta(p, T) = \eta(0, 1, T) + \sum_{i=1}^n a_i (p-0, 1)^i + \frac{1}{T} \sum_{j=1}^m b_j (p-0, 1)^j \quad (1)$$

где размерность давления - МПа, температуры - К. Уравнение (1) удовлетворяет предельному условию, так как свободные члены полиномов от  $p-0, 1$  равны 1, 0 и 0 соответственно.

По экспериментальным данным [7 - 10] методом наименьших квадратов определены коэффициенты уравнений для вязкости.

При расчетах использованы аналитические выражения для зависимости вязкости R32 и R134a от температуры при атмосферном давлении, полученные в [7] и [10] соответственно. По аналогии с [7] на основании экспериментальных данных были определены постоянные уравнения вязкости (2) при атмосферном давлении для R125 в диапазоне от 298 до 423 К. Уравнение имеет вид

$$\eta(0, 1, T) = T^{0,5} / (-1,251 \cdot 10^{-4} + \frac{6,95513 \cdot 10^2}{T} - \frac{9,003 \cdot 10^4}{T^2}) \quad (2)$$

Вязкость альтернативных хладагентов в состоянии газа мало исследована экспериментально. В таблице 1 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных и их интервал по температуре и давлению.

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

**Таблица 1** – Перечень экспериментальных данных по вязкости R32, R125 и R134a.

| Автор и источник      | Число точек | Интервал параметров |             |
|-----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                       |             | $T$ (К)             | $p$ (МПа)   |
| R32                   |             |                     |             |
| Такахаши и соавт. [7] | 114         | 298 - 423           | 0,1 - 10    |
| R125                  |             |                     |             |
| Такахаши и соавт. [8] | 131         | 298 - 423           | 0,1 – 8,4   |
| R134a                 |             |                     |             |
| Шибасаки и соавт. [9] | 126         | 298 - 423           | 0,1 – 5,6   |
| Краусс и соавт. [10]  | 43          | 290 - 374           | 0,51 – 4,04 |

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.

**Таблица 2** – Коэффициенты уравнения (1) для расчета вязкости R32, R125 и R134a и отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

| Коэффициент                  | Вещество              |                     |                     |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|                              | R32                   | R125                | R134a               |
| $a_1$                        | 3,513                 | -0,298              | 0                   |
| $a_2$                        | -1,293                | 0                   | 0                   |
| $a_3$                        | $1,500 \cdot 10^{-2}$ | 0                   | 0                   |
| $a_4$                        | $2,754 \cdot 10^{-3}$ | 0                   | 0                   |
| $b_1$                        | $-1,234 \cdot 10^3$   | $4,087 \cdot 10^2$  | $-1,124 \cdot 10^3$ |
| $b_2$                        | $4,518 \cdot 10^2$    | $-7,892 \cdot 10^2$ | $3,806 \cdot 10^3$  |
| $b_3$                        | 0                     | $8,543 \cdot 10^2$  | $-4,662 \cdot 10^3$ |
| $b_4$                        | 0                     | $-3,250 \cdot 10^2$ | $2,636 \cdot 10^3$  |
| $b_5$                        | 0                     | $4,259 \cdot 10$    | $-6,856 \cdot 10^2$ |
| $b_6$                        | 0                     | 0                   | $6,692 \cdot 10$    |
| $\Delta T$ , К               | 298 - 423             | 298 - 423           | 298 - 423           |
| $\Delta p$ , МПа             | 0,1 – 5,5             | 0,1 – 3,7           | 0,1 – 3,9           |
| $\delta\eta_{\max}$ , %      | 3,49                  | 3,83                | 3,16                |
| $\delta\eta_{\text{ср}}$ , % | 1,08                  | 1,26                | 1,07                |

По экспериментальным данным [13 - 23] для рассматриваемых хладагентов также составлены уравнения для расчета теплопроводности через

переменные температуру и давление в форме, аналогичной предложенной в работах [11, 12].

Уравнение для расчета теплопроводности имеет вид

$$\lambda(p, T) = \lambda(0, 1, T) + \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_i (T \cdot (p - 0, 1))^i \quad (3)$$

Уравнения позволяют рассчитать теплопроводность хладагентов в газообразном состоянии в интервале температур от 283 до 434 К при давлении до 5,0 МПа для R32, от 264 до 354 К при давлении до 2,8 МПа для R125 и от 293 до 515 К при давлении до 2,8 МПа для R134a. Размерность давления в уравнении – МПа, температуры – К.

Уравнение (3) удовлетворяет предельному условию, так как свободные члены полиномов от  $T \cdot (p - 0, 1)$  равны 1 и 0 соответственно. Второй член уравнения учитывает рост теплопроводности на изотерме и отображает кривизну изобар.

Температурной функцией уравнения является теплопроводность хладагентов в состоянии газа при атмосферном давлении  $\lambda(0, 1, T)$ . При расчетах использованы аналитические выражения для зависимости теплопроводности R125 и R134a от температуры при атмосферном давлении, полученные в [13] и [23] соответственно. На основании экспериментальных данных [13, 16], было составлено уравнение теплопроводности (4) при атмосферном давлении для R32 в диапазоне от 283 до 465 К, имеющее вид

$$\lambda(0, 1, T) = 4,582 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 5,129 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 7,13 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 \quad (4)$$

Теплопроводность альтернативных хладагентов в состоянии газа исследована экспериментально в большей степени, чем вязкость, но все же число экспериментальных данных ограничено. В таблице 3 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных и их интервал по температуре и давлению.

**Таблица 3** – Перечень экспериментальных данных по теплопроводности R32, R125 и R134a.

| Автор и источник        | Число точек | Интервал параметров |             |
|-------------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                         |             | T (К)               | p (МПа)     |
| R32                     |             |                     |             |
| Танака и соавт. [13]    | 53          | 283 - 333           | 0,1 – 3,93  |
| Сан и соавт. [14]       | 20          | 254 - 342           | 0,22 – 3,93 |
| Гросс и соавт. [15]     | 43          | 265 - 345           | 0,1 – 4,0   |
| Ле Неидре и соавт. [16] | 68          | 299 - 434           | 0,1 – 5,0   |

|                         |     |           |             |
|-------------------------|-----|-----------|-------------|
| R125                    |     |           |             |
| Танака и соавт. [13]    | 51  | 283 - 333 | 0,1 – 2,01  |
| Гросс и соавт. [15]     | 63  | 254 - 354 | 0,1 – 3,65  |
| Ассаэль и соавт. [17]   | 17  | 272 - 313 | 0,16 – 1,13 |
| Сан и соавт. [14]       | 17  | 251 - 334 | 0,18 – 2,84 |
| R134a                   |     |           |             |
| Танака и соавт. [18]    | 33  | 293 - 353 | 0,1 – 2,54  |
| Лесек и соавт. [19]     | 133 | 241 - 393 | 0,042 – 4,4 |
| Гросс и соавт. [20]     | 42  | 273 - 354 | 0,096 – 2,6 |
| Ямамото и соавт. [21]   | 38  | 273 - 363 | 0,1 – 3,05  |
| Цветков и соавт. [22]   | 21  | 235 - 440 | 0,05 – 0,18 |
| Ассаэль и соавт. [17]   | 19  | 273 - 333 | 0,14 – 0,67 |
| Ле Неидре и соавт. [23] | 37  | 299 - 515 | 0,1 – 0,76  |

В таблице 4 приведены коэффициенты уравнения (3) для расчета теплопроводности через переменные температуру и давление, указаны интервалы параметров, в которых эти уравнения действуют, максимальное  $\lambda_{\max}$  и среднее квадратическое  $\lambda_{\text{ср}}$  отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

**Таблица 4** – Коэффициенты уравнения (3) для расчета теплопроводности R32, R125 и R134a и отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

| Коэф.                     | Вещество               |                         |                         |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                           | R32                    | R125                    | R134a                   |
| $a_1$                     | 0,289                  | 0,339                   | -0,925                  |
| $a_2$                     | $1,560 \cdot 10^{-3}$  | $7,397 \cdot 10^{-3}$   | 0,036                   |
| $a_3$                     | $-1,335 \cdot 10^{-6}$ | $-2,851 \cdot 10^{-5}$  | $-1,528 \cdot 10^{-4}$  |
| $a_4$                     | $3,442 \cdot 10^{-10}$ | $5,336 \cdot 10^{-8}$   | $2,214 \cdot 10^{-7}$   |
| $a_5$                     | 0                      | $-3,184 \cdot 10^{-11}$ | $-1,022 \cdot 10^{-10}$ |
| $\Delta T, \text{ К}$     | 283 - 434              | 264 - 354               | 293 - 515               |
| $\Delta p, \text{ МПа}$   | 0,1 – 5,0              | 0,1 – 2,8               | 0,1 – 2,8               |
| $\lambda_{\max}, \%$      | 2,82                   | 2,60                    | 3,35                    |
| $\lambda_{\text{ср}}, \%$ | 1,27                   | 1,23                    | 1,48                    |

Из таблицы 4 видно, что уравнение (3) для расчета теплопроводности с удовлетворительной точностью описывает данные в области температур и давлений, характерных для холодильных установок.

### III. ВЫВОДЫ

Уравнения для расчета вязкости и теплопроводности через независимые переменные температуру и давление удобны для применения. Они дают возможность не использовать уравнения состояния для расчета плотности, что необходимо при использовании уравнений для свойств переноса, представленных через независимые переменные плотность и температуру. Таким образом, составленные уравнения можно рекомендовать при расчетах вязкости и теплопроводности хладагентов R32, R125 и R134a в газообразном состоянии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Н.Б. Варгафтик.** Теплопроводность сжатых газов и жидкостей. // Известия ВТИ. – 1951. - № 7. – с. 13 – 19.
2. **И.Ф. Голубев.** Вязкость газов и газовых смесей. - М.: Физматгиз, 1959. – 377 с.
3. **В.Е. Люстерник.** Уравнение вязкости сжатого газообразного и жидкого водорода. // Теплофизика высоких температур. – 1969. – Т.7. - № 2. – 367 – 369.
4. **А.А. Вассерман, В.И. Недоступ.** Уравнение для расчета коэффициента вязкости азота и водорода в газообразном и жидком состояниях. // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1971. - № 3. – с. 118 – 121.
5. **Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзианов, Е.Е. Тоцкий.** Справочник по теплопроводности жидкостей и газов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.
6. **А.А. Вассерман.** Уравнения для расчета вязкости сжатого газа при высоких температурах. // Теплофизика высоких температур. – 1975. – Т.13. - №5. – с. 1104 - 1105.
7. **М. Takahashi, N. Shibasaki-Kitakava, C. Yokoyama, S. Takahashi.** Gas Viscosity of Difluoromethane from 298.15 to 423.15 K and up to 10 MPa. // J. Chem. Eng. Data. – 1995. – Vol. 40. – p. 900 – 902.
8. **М. Takahashi, N. Shibasaki-Kitakava, C. Yokoyama.** Viscosity of Gaseous HFC-125 (Pentafluoroethane) Under High Pressure. // International Journal of Thermophysics. – 1999. - Vol. 20. - No. 2. – p. 445 - 453.
9. **N. Shibasaki-Kitakava, M. Takahashi, C. Yokoyama.** Viscosity of Gaseous HFC-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) Under High Pressure. // International Journal of Thermophysics. – 1998. - Vol. 19. - No. 5. –p. 1285 -1295.
10. **R. Krauss, J. Luetmer-Strathman, J.V. Senegers, K. Stephan.** Transport Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (R134a). // International Journal of Thermophysics. – 1993. - Vol. 14. - No. 4. –p. 951 - 988.
11. **А.А. Вассерман.** О расчете теплопроводности газа при высоких температурах и давлениях. // Теплофизика высоких температур. – 1972. – Т.10. - № 5. – с. 1116 - 1118.
12. **А.А. Вассерман.** Уравнения для расчета теплопроводности одноатомных газов при высоких температурах и давлениях до 1000 бар. // Теплофизика высоких температур. – 1975. –Т. 13. - №4. – с. 879 - 881.
13. **Y. Tanaka, S. Matsuo, S. Taya.** Gaseous Thermal Conductivity of Difluoromethane (HFC-32), Pentafluoroethane (HFC-125), and Their Mixtures. // International Journal of Thermophysics. – 1995. - Vol. 16. - No. 1. – p. 121 – 131.
14. **L. Sun, M. Zhu, L. Han, Z. Lin.** Thermal Conductivity of Gaseous Difluoromethane and Pentafluoroethane near the Saturation Line. // J.Chem. Eng. Data. – 1997. – Vol. 42. – p. 179 – 182.
15. **U. Gross, Y.W. Song.** Thermal Conductivities of New Refrigerants R125 and R32 Measured by the Transient Hot-Wire Method. // International Journal of Thermophysics. – 1996. - Vol. 17. - No. 3. – p. 607 – 619.
16. **B. Le Neindre, Y. Garrabos.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-32 (Difluoromethane) in the Temperature Range from 300 to 465 K at Pressures up to 50 MPa. // International Journal of Thermophysics. – 2001. - Vol. 22. - No. 3. – p. 701 - 722.
17. **M.J. Assael, N. Malamataris, L. Karagiannidis.** Measurements of the Thermal Conductivity of Refrigerants in the Vapor Phase. // International Journal of Thermophysics. – 1997. - Vol. 18. - No. 2. – p. 341 - 352.
18. **Y. Tanaka, M. Tanaka, T. Makita.** Thermal Conductivity of Gaseous HFC-134a, HFC-143a, HCFC-141b, and HCFC-142b. // International Journal of Thermophysics. 1991. - Vol. 12. - No. 6. – p. 949 - 963.
19. **A. Laesecke, R.A. Perkins, C.A. Nieto de Castro.** Thermal Conductivity of R134a. // Fluid Phase Equilibria. – 1992. – Vol. 80. – p. 263 – 274.
20. **U. Gross, Y.W. Song, E. Hahne.** Thermal Conductivity of the New Refrigerants R134a, R152a, and R123 Measured by the Transient Hot-Wire Method. // International Journal of Thermophysics. – 1992. - Vol. 13. - No. 6. – p. 957 – 983.
21. **R. Yamamoto, S. Matsuo, Y. Tanaka.** Thermal Conductivity of Halogenated Ethanes, HFC-134a, HCFC-123, and HCFC-141b. // International Journal of Thermophysics. – 1993. - Vol. 14. - No. 1. – p. 79 – 90.
22. **O.B. Tsvetkov, Y. A. Laptev, A.G. Asambaev.** Experimental study and correlation of the thermal conductivity of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a) in

the rarefied gas state. // *Int. J. Refrig.* – 1995. - Vol. 18. - No. 6. – p. 373 – 377.

23. **B. Le Neidre, Y. Garrabos, F. Gumerov, A. Sabirzianov.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Supercritical Region. // *J. Chem. Eng. Data.* – 2009. – Vol. 54. – p. 2678 – 2688.

## REFERENCES

1. **N.B. Vargaftik.** Teploprovodnost' szhatyh gazov i zhidkостей. // *Izvestija VTI.* – 1951. - № 7. – с. 13-19.  
2. **I.F. Golubev.** Vjazkost' gazov i gazovyh smesey. - M.: Fizmatgiz, 1959. – 377 с.

3. **V.E. Ljusternik.** Uravnenie vjazkosti szhatogo gazoobraznogo i zhidkogo vodoroda. // *Teplofizika vysokih temperatur.* – 1969. – T.7. - № 2. – 367 – 369.

4. **A.A. Vasserman, V.I. Nedostup.** Uravnenie dlja rascheta koeficienta vjazkosti azota i vodoroda v gazoobraznom i zhidkom sostojanijah. // *Zhurnal prikladnoj mehaniki i tehnicheckoj fiziki.* – 1971. - № 3. – с. 118 – 121.

5. **N.B. Vargaftik, L.P. Filippov, A.A. Tarzimanov, E.E. Tockij.** Spravochnik po teploprovodnosti zhidkостей i gazov. - M.: Jenergoatomizdat, 1990. - 352 с.

6. **A.A. Vasserman.** Uravnenija dlja rascheta vjazkosti szhatogo gaza pri vysokih temperaturah. // *Teplofizika vysokih temperatur.* – 1975. – T.13. - №5. – с. 1104-1105.

7. **M. Takahashi, N. Shibasaki-Kitakava, C. Yokoyama, S. Takahashi.** Gas Viscosity of Difluoromethane from 298.15 to 423.15 K and up to 10 MPa. // *J. Chem. Eng. Data.* – 1995. – Vol. 40. – p. 900 – 902.

8. **M. Takahashi, N. Shibasaki-Kitakava, C. Yokoyama.** Viscosity of Gaseous HFC-125 (Pentafluoroethane) Under High Pressure. // *International Journal of Thermophysics.* – 1999. - Vol. 20. - No. 2. – p. 445-453.

9. **N. Shibasaki-Kitakava, M. Takahashi, C. Yokoyama.** Viscosity of Gaseous HFC-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) Under High Pressure. // *International Journal of Thermophysics.* – 1998. - Vol. 19. - No. 5. –p. 1285 -1295.

10. **R. Krauss, J. Luetmer-Strathman, J.V. Senegers, K. Stephan.** Transport Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (R134a). // *International Journal of Thermophysics.* – 1993. - Vol. 14. - No. 4. – p. 951-988.

11. **A.A. Vasserman.** O raschete teploprovodnosti gaza pri vysokih temperaturah i davlenijah. // *Teplofizika vysokih temperatur.* – 1972. – T.10. - № 5. – с. 1116 - 1118.

12. **A.A. Vasserman.** Uravnenija dlja rascheta teploprovodnosti odnoatomnyh gazov pri vysokih temperaturah i davlenijah do 1000 bar. // *Teplofizika*

*vysokih temperatur.* – 1975. –T. 13. - №4. – с. 879 - 881.

13. **Y. Tanaka, S. Matsuo, S. Taya.** Gaseous Thermal Conductivity of Difluoromethane (HFC-32), Pentafluoroethane (HFC-125), and Their Mixtures. // *International Journal of Thermophysics.* – 1995. - Vol. 16. - No. 1. – p. 121 – 131.

14. **L. Sun, M. Zhu, L. Han, Z. Lin.** Thermal Conductivity of Gaseous Difluoromethane and Pentafluoroethane near the Saturation Line. // *J. Chem. Eng. Data.* – 1997. – Vol. 42. – p. 179 – 182.

15. **U. Gross, Y.W. Song.** Thermal Conductivities of New Refrigerants R125 and R32 Measured by the Transient Hot-Wire Method. // *International Journal of Thermophysics.* – 1996. - Vol. 17. - No. 3. – p. 607 – 619.

16. **B. Le Neidre, Y. Garrabos.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-32 (Difluoromethane) in the Temperature Range from 300 to 465 K at Pressures up to 50 MPa. // *International Journal of Thermophysics.* – 2001. - Vol. 22. - No. 3. – p. 701 - 722.

17. **M.J. Assael, N. Malamataris, L. Karagiannidis.** Measurements of the Thermal Conductivity of Refrigerants in the Vapor Phase. // *International Journal of Thermophysics.* – 1997. - Vol. 18. - No. 2. – p. 341 - 352.

18. **Y. Tanaka, M. Tanaka, T. Makita.** Thermal Conductivity of Gaseous HFC-134a, HFC-143a, HCFC-141b, and HCFC-142b. // *International Journal of Thermophysics.* 1991. - Vol. 12. - No. 6. – p. 949 - 963.

19. **A. Laesecke, R.A. Perkins, C.A. Nieto de Castro.** Thermal Conductivity of R134a. // *Fluid Phase Equilibria.* – 1992. – Vol. 80. – p. 263 – 274.

20. **U. Gross, Y.W. Song, E. Hahne.** Thermal Conductivity of the New Refrigerants R134a, R152a, and R123 Measured by the Transient Hot-Wire Method. // *International Journal of Thermophysics.* – 1992. - Vol. 13. - No. 6. – p. 957 – 983.

21. **R. Yamamoto, S. Matsuo, Y. Tanaka.** Thermal Conductivity of Halogenated Ethanes, HFC-134a, HCFC-123, and HCFC-141b. // *International Journal of Thermophysics.* – 1993. - Vol. 14. - No. 1. – p. 79-90.

22. **O.B. Tsvetkov, Y. A. Laptev, A.G. Asambaev.** Experimental study and correlation of the thermal conductivity of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a) in the rarefied gas state. // *Int. J. Refrig.* – 1995. - Vol. 18. - No. 6. – p. 373 – 377.

23. **B. Le Neidre, Y. Garrabos, F. Gumerov, A. Sabirzianov.** Measurements of the Thermal Conductivity of HFC-134a in the Supercritical Region. // *J. Chem. Eng. Data.* – 2009. – Vol. 54. – p. 2678 – 2688.

Получена в редакції 18.11.2013, прийнята к печати 03.12.2013