

УДК 62 – 714:532.13.001.24

Бойчук А.С.

**УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ХЛАДАГЕНТОВ R32, R125 и R134a ЧЕРЕЗ ПЕРЕМЕННЫЕ
ТЕМПЕРАТУРУ И ДАВЛЕНИЕ**

Одесский Национальный Морской Университет,

Одесса, ул. Мечникова 34, 65029

UDC 62 – 714:532.13.001.24

Boychuk A.S.

**EQUATIONS FOR VISCOSITY OF ALTERNATIVE REFRIGERANTS R32,
R125 AND R134a IN FORM FROM VARIABLES TEMPERATURE AND
PRESSURE**

Odessa National Maritime University,

Odessa, Mechnikova 34, 65029

Аннотация. Составлены уравнения для расчета вязкости альтернативных хладагентов R32, R125 и R134a в форме 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. Точность составленных уравнений вполне приемлема для инженерных расчетов.

Ключевые слова: хладагенты, R32, R125, R134a, газ, вязкость, уравнения.

Abstract. Equations for viscosity of alternative refrigerants R32, R125 and R134a are made in form from independent variables, such as temperature and pressure. 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. The precision of composed equations is quite acceptable for engineering calculations.

Keywords: refrigerants, R32, R125, R134a, gas, viscosity, equations.

Хладагенты R32, R125 и R134a применяются в холодильной промышленности, как в чистом виде, так и в качестве бинарных и тройных смесей. Они отвечают базовым требованиям для рабочих веществ. Рассматриваются как прямые хладагенты-заменители для R12 и R22. Озоноразрушающий потенциал указанных рабочих веществ холодильных установок равен нулю. Для проектирования и эффективной эксплуатации таких установок необходимы данные о транспортных свойствах, одним из которых является вязкость. Ее удобно рассчитать с помощью уравнений, составленных на основании экспериментальных данных.

Существующие уравнения для расчета вязкости газов [1 - 4] представлены через независимые переменные температуру T и плотность ρ . Однако при расчетах различных процессов чаще в качестве исходных параметров задаются температура и давление p . Поэтому для практики желательно представить уравнение для расчета вязкости вещества через независимые переменные температуру и давление.

На основе имеющихся экспериментальных данных для хладагентов составлены уравнения, позволяющие рассчитать 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.

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

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

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

По экспериментальным данным [9 - 12] методом наименьших квадратов определены коэффициенты уравнений для вязкости .

Температурной функцией уравнения является вязкость хладагентов в состоянии газа при атмосферном давлении $\eta(0,1, T)$. При расчетах использовано аналитическое выражение для зависимости вязкости R32 от температуры при атмосферном давлении, полученное в [9]. По аналогии с [9], используя экспериментальные данные, были определены постоянные уравнения вязкости (2) при атмосферном давлении для R125 в диапазоне от 298 до 423 К. Уравнение имеет вид

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

Для расчета вязкости R134a при атмосферном давлении использовалось аналитическое выражение, представленное в [11].

Вязкость альтернативных хладагентов в состоянии газа мало исследована экспериментально. В (табл. 1) представлены литературные источники, год издания, количество опытных данных и их интервал по температуре и давлению.

Таблица 1

Перечень экспериментальных данных по вязкости R32, R125 и R134a

Автор и источник	Год	Число точек	Интервал параметров	
			Температура, К	Давление, МПа
R32				
Такахашаи и соавт. [9]	1995	114	298 - 423	0,1 - 10
R125				
Такахашаи и соавт. [10]	1999	131	298 - 423	0,1 – 8,4
R134a				
Краусс и соавт. [11]	1993	43	290 - 374	0,51 – 4,04
Шибасаки и соавт. [12]	1998	126	298 - 423	0,1 – 5,6

В (табл. 2) представлены коэффициенты уравнений для расчета вязкости через переменные температуру и давление, указаны интервалы параметров, на которые эти уравнения распространяются, максимальное $\delta\eta_{\text{макс}}$ и среднее квадратичное $\delta\eta_{\text{ср}}$ отклонения опытных данных от рассчитанных по уравнению.

Таблица 2

Коэффициенты уравнений для расчета вязкости R32, R125 и R134a

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	$6,692 \cdot 10$
$\Delta T, \text{K}$	298 - 423	298 - 423	298 - 423
$\Delta p, \text{МПа}$	0,1 – 5,5	0,1 – 3,7	0,1 – 3,9
$\delta\eta_{\text{макс}}, \%$	3,49	3,83	3,16
$\delta\eta_{\text{ср}}, \%$	1,08	1,26	1,07

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

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

Литература:

1. Варгафтик Н.Б.. Изв. ВТИ, № 1, 13, 1952.
2. Голубев И.Ф. Вязкость газов и газовых смесей / И.Ф. Голубев. – М.: Физматгиз, 1959. – 375 с.
3. Люстерник В.Е. Уравнение вязкости сжатого газообразного и жидкого водорода / В.Е. Люстерник // Теплофизика высоких температур. – М.: Российская академия наук, 1969. Том 7, Вып. 2. – С. 367-369.
4. Вассерман А.А. Уравнение для расчёта коэффициента вязкости азота и водорода в газообразном и жидком состояниях. / А.А. Вассерман, В.И. Недоступ // Журнал прикладной механики и технической физики. – Новосибирск: СО РАН, 1971. Вып. 3. – С. 118 - 121.
5. Вассерман А.А. О расчете теплопроводности газа при высоких температурах и давлениях. / А.А. Вассерман // Теплофизика высоких температур. – М.: Российская академия наук, 1972. Том 10. Вып. 5. – С. 1116 - 1118.
6. Вассерман А.А. Уравнения для расчета вязкости сжатого газа при высоких температурах. / А.А. Вассерман // Теплофизика высоких температур. – М.: Российская академия наук, 1975. Том 13. Вып. 5. – С. 1104 - 1105.
7. Тимрот Д.Л., Середницкая М.А., Трактуева С.А. // Теплоэнергетика. – М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 1969. Том 16. Вып. 1. – С. 83
8. Теплофизические свойства воздуха и его компонентов./ А.А. Вассерман, Я.З. Казавчинский, В.А. Рабинович. – М.: Наука, 1966. – 375 с.
9. Takahashi, M., Shibasaki-Kitakava, N., Yokoyama, C., Takahashi, S. (1995). Gas Viscosity of Difluoromethane from 298.15 to 423.15 K and up to 10 MPa, J. Chem. Eng. Data, Vol. 40, pp. 900-902.
10. Takahashi, M., Shibasaki-Kitakava, N., Yokoyama, C. (1999). Viscosity of Gaseous HFC-125 (Pentafluoroethane) Under High Pressure, International Journal of Thermophysics, Vol. 20, No. 2, pp. 445 - 453.
11. Krauss, R., Luetmer-Strathman, J., Sengers, J.V., Stephan, K. (1993) Transport Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (R134a), International Journal of Thermophysics, Vol. 14, No. 4, pp. 951 - 988.

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

Статья отправлена: 06.11.2013 г.

© Бойчук А.С.