

УДК 62 – 714:532.13:536.23.001

Бойчук А.С.

**РАСЧЁТ ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СМЕСИ
ХЛАДАГЕНТОВ R32/R125**

*Одесский Национальный Морской Университет,
Одесса, ул. Мечникова 34, 65029*

Boychuk A.S.

**REFRIGERANTS MIXTURE R32/R125 VISCOSITY AND THERMAL
CONDUCTIVITY CALCULATION**

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

Аннотация. Составлены уравнения, описывающие опытные данные о вязкости и теплопроводности бинарной смеси альтернативных хладагентов R32/R125. Уравнения отображают зависимость вязкости и теплопроводности смеси хладагентов от температуры, плотности и состава, обеспечивая переход от чистых веществ к смеси и наоборот. Позволяют проводить расчёт вязкости смеси в интервале температур от 253 до 423 К при давлении до 7,5 МПа и теплопроводности смеси в интервале температур от 213 до 387 К при давлении до 30 МПа. Средние квадратические отклонения опытных данных от рассчитанных не превышают 2,93 %.

Ключевые слова: хладагент, бинарная смесь, R32/R125, вязкость, теплопроводность, уравнения.

Abstract. Equations describing viscosity and thermal conductivity experimental data of alternative refrigerants mixture R32/R125 are compiled. Equations represent refrigerants mixture viscosity and thermal conductivity dependence from temperature, density and composition, providing transfer from pure components to mixture and vice versa. Providing possibility to calculate mixture viscosity at

temperature ranging from 253 to 423 K at a pressure up to 7,5 MPa and mixture thermal conductivity at temperature ranging from 213 to 387 K at a pressure up to 30 MPa. Standard deviations of the experimental values from calculated are not exceed 2,93 %.

Keywords: refrigerant, binary mixture, R32/R125, viscosity, thermal conductivity, equations.

Вступление.

В связи с расширением диапазона температур, которыми оперирует современная холодильная техника, в настоящее время существует тенденция применения не только чистых фреонов, но и их смесей. Наиболее перспективными в этом отношении являются смеси, составленные на базе широко распространенных фреонов, в частности смесь R32/R125. Смесь R32/R125 малотоксичная, невзрывоопасна, неагрессивна к конструкционным материалам, не содержит хлора, имеет нулевой потенциал разрушения озона (ODP), относится к группе гидрофторуглеродов. Обладает благоприятными теплофизическими свойствами.

Используя смеси хладагентов в самых разнообразных установках с различными температурными режимами возникла необходимость обладания надежными сведениями об их теплофизических свойствах в широкой области параметров. Для гидравлических и тепловых расчетов теплообменной аппаратуры весьма важными являются сведения о вязкости и теплопроводности.

Расчёт вязкости.

При составлении уравнений для вязкости бинарной смеси хладагентов R32/R125 целесообразно использовать метод Улыбина представленный в [1], согласно которого вязкость смеси равняется сумме вязкостей компонентов, умноженных на их мольную долю в смеси и взятых при одинаковых температурах. Уравнения для расчёта вязкости чистых компонентов R32 и R125 представлены в [2].

Уравнение для расчёта вязкости смеси хладагентов составлено в форме, которая имеет вид:

$$\eta = x_1 \cdot \eta_1 + x_2 \cdot \eta_2, \quad 1)$$

где η – вязкость смеси, η_1 и η_2 – вязкости компонентов смеси R32 и R125, x_1 и x_2 – мольные доли компонентов в смеси. Размерность вязкости – мкПа·с.

Уравнение (1) удовлетворяет предельному условию, а также обеспечивает переход от чистых веществ к смеси и наоборот.

Вязкость смеси альтернативных хладагентов R32/R125 экспериментально исследована в области параметров, которая представляет интерес для холодильной отрасли. В табл. 1 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных, их интервал по температуре и давлению, а также мольная доля R32 в смеси. Для упрощения формы и размеров таблицы во втором столбике указан только первый из авторов публикации.

Таблица 1

Экспериментальные данные о вязкости смеси R32/R125

Год	Автор и источник	Число точек	Интервал параметров		Мольная доля R32 в смеси
			T (К)	p (МПа)	
1999	Набизадех [3]	51	221,65 – 397,39	0.101 – 3.105	0,6976
2000	Геллер [4]	24	253.13 – 353.15	0.101 – 13.19	0,6976
2001	Йокояма [5]	357	298.15 – 423.15	0.101 – 7.720	0,2502; 0,5002; 0,7525

Используя форму уравнения (1) также были получены значения вязкости и плотности смеси при атмосферном давлении, основываясь на соответствующие уравнения для компонентов из [2]. При этом опытные данные для смеси о вязкости и плотности при атмосферном давлении описывались уравнениями со средними квадратическими отклонениями 2,03 % и 0,13 % соответственно.

Для оценки точности уравнения (1) было выполнено сравнение рассчитанных значений вязкости смеси R32/R125 с опытными данными. При этом были исключены некоторые опытные точки, не согласующиеся с основным массивом данных. В табл. 2 приведены максимальное $\delta\eta_{\text{макс}}$ и среднее квадратическое $\delta\eta_{\text{ср}}$ отклонения экспериментальных данных от расчётных.

Таблица 2

Точность аппроксимации опытных данных о вязкости смеси R32/R125

Число точек	Интервал параметров			$\delta\eta_{\text{макс}}$, %	$\delta\eta_{\text{ср}}$, %
	T (К)	p (МПа)	ρ (кг/м ³)		
371	253,13 – 423,15	0,101 – 7,509	2 – 290	5,95	2,44

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

Расчёт теплопроводности.

Расчёт теплопроводности бинарной смеси хладагентов R32/R125 также проводился по методу Улыбина [1]. Уравнения для расчёта теплопроводности чистых компонентов R32 и R125 представлены в [6].

Уравнение для расчёта теплопроводности представленной смеси хладагентов составлено в форме, аналогичной (1), и имеет вид:

$$\lambda = a_1 \cdot x_1 \cdot \lambda_1 + a_2 \cdot x_2 \cdot \lambda_2, \quad (2)$$

где λ – теплопроводность смеси, λ_1 и λ_2 – теплопроводности компонентов смеси R32 и R125, x_1 и x_2 – мольные доли компонентов в смеси, a_1 и a_2 – коэффициенты для R32 и R125 уравнения теплопроводности смеси, которые принимают отличные от 1 значения $a_1 = 0,9088$ и $a_2 = 0,6015$ при плотностях выше 900 кг/м³. Размерность теплопроводности – мВт/(м·К).

Уравнение (2) описывает регулярную часть теплопроводности и не отображает резкий рост этого свойства в критической области, удовлетворяет

предельному условию, а также обеспечивает переход от чистых веществ к смеси и наоборот.

Теплопроводность смеси хладагентов R32/R125 экспериментально исследована в более широкой области давлений, чем вязкость. В табл. 3 представлены ссылки на литературные источники, количество опытных данных, их интервал по температуре и давлению, а также мольная доля R32 в смеси. Для упрощения формы и размеров таблицы во втором столбике указан только первый из авторов публикации.

Таблица 3

Экспериментальные данные о теплопроводности смеси R32/R125

Год	Автор и источник	Число точек	Интервал параметров		Мольная доля R32 в смеси
			T (К)	p (МПа)	
1995	Танака [7]	69	283,15 – 298,15	0,10 – 1,20	0,1876; 0,3696; 0,5721; 0,8222
1997	Ро [8]	120	232,65 – 323,95	2 – 20	0,4376; 0,6189; 0,6939; 0,7714; 0,8793
1999	Гао [9]	60	213,00 – 293,00	2 – 30	0,4334; 0,6976; 0,8738
2001	Геллер [10]	50	255,04 – 409,81	0,101 – 3,69	0,6976

Значения теплопроводности смеси R32/R125 при атмосферном давлении также получены с использованием формы уравнения (2) и соответствующих уравнений для компонентов из [6]. Опытные данные о теплопроводности смеси при атмосферном давлении описывались уравнением со средним квадратическим отклонением 2,10 %.

Оценка точности уравнения (2) проводилась путем сравнения расчётных значений теплопроводности смеси R32/R125 с опытными данными. Некоторые опытные точки, которые не согласовывались с основным массивом, были исключены. В табл. 4 указаны интервалы параметров, в которых действует

уравнение (2) для расчета теплопроводности, приведены максимальное $\delta\lambda_{\text{макс}}$ и среднее квадратическое $\delta\lambda_{\text{ср}}$ отклонения экспериментальных данных от расчётных.

Таблица 4

Точность аппроксимации опытных данных о теплопроводности смеси R32/R125

Число точек	Интервал параметров			$\delta\eta_{\text{макс}}$, %	$\delta\eta_{\text{ср}}$, %
	T (К)	p (МПа)	ρ (кг/м ³)		
113	255,04 – 387,25	0,1 – 3,007	2 – 118	–3,51	1,60
164	213,00 – 323,95	2 – 30	903 – 1520	–5,36	2,93

Из табл. 4 видно, что уравнение (2) описывает данные о теплопроводности смеси с точностью сопоставимой точности эксперимента.

Заключение и выводы.

Составлены уравнения для расчёта вязкости и теплопроводности бинарной смеси хладагентов R32/R125 с использованием соответствующих уравнений для компонентов. Обеспечен переход от чистых компонентов к смеси и наоборот. Уравнения описывают накопленные опытные данные с удовлетворительной точностью, что позволяет рекомендовать их для инженерных расчётов холодильных установок и оборудования.

Литература:

1. Улыбин С. А. Температурная зависимость вязкости разреженных газовых смесей // Теплоэнергетика. – 1962. – № 8. – С. 93 – 94.
2. Бойчук А.С. Уравнения для расчета вязкости хладагентов R32 и R125 // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 4 (150). – С. 18 – 21. doi:10.15673/0453-8307.4/2014.28046

3. Nabizadeh H., Mayinger F. Viscosity of Gaseous R404A, R407C, R410A and R507 // *Int. J. Thermophysics.* – 1999. – Vol. 20. – No. 3. – P. 777 – 790. doi:10.1023/A:1022618832289

4. Geller V.Z., Bivens D., and Yokozeki A. Viscosity of Mixed Refrigerants, R404A, R407C, R410A, and R507C // Paper 508. Presented on 8th International Refrigeration Conference at Purdue University (2000), West Lafayette, IN, USA.

5. Yokoyama C., Nishino T., and Takahashi M. Viscosity of Gaseous Mixtures of HFC-125 + HFC-32 // *Int. J. Thermophysics.* – 2001. – Vol. 22. – No. 5. – P. 1329 – 1347. doi: 10.1023/A:1012882017926

6. Бойчук А.С. Уравнения для расчета теплопроводности хладагентов R32 и R125 // *Холодильна техніка та технологія.* – 2014. – № 6 (152). – С. 10 – 13. doi:10.15673/0453-8307.6/2014.30694

7. Tanaka Y., Matsuo S., and Taya S. Gaseous Thermal Conductivity of Difluoromethane (HFC-32), Pentafluoroethane (HFC-125), and Their Mixtures // *Int. J. Thermophysics.* – 1995. – Vol. 16. – No. 1. – P. 121 – 131. doi:10.1007/BF01438963

8. Ro S.T., Kim M.S., and Jeong S.U. Liquid Thermal Conductivity of Binary Mixtures of Difluoromethane (R32) and Pentafluoroethane (R125) // *Int. J. Thermophysics.* – 1997. – Vol. 18. – No. 4. – P. 991 – 999. doi:10.1007/BF02575243

9. Gao X., Nagasaka Y., and Nagashima A. Thermal Conductivity of Binary Refrigerant Mixtures of HFC-32/125 and HFC-32/134a in the Liquid Phase // *Int. J. Thermophysics.* – 1999. – Vol. 20. – No. 5. – P. 1403 – 1415. doi:10.1023/A:1021432920199

10. Geller V.Z., Nemzer B.V., and Cheremnykh U.V. Thermal Conductivity of the Refrigerant Mixtures R404A, R407C, R410A, and R507A // *Int. J. Thermophysics.* – 2001. – Vol. 22. – No. 4. – P. 1035 – 1043. doi:10.1023/A:1010691504352

Статья отправлена: 09.09.2016 г.

© Бойчук А.С.