**УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ R32, R125 ИR134A**

Вассерман А.А., Бойчук А.С.

*Одесский национальный морской университет, Украина, 65029, г. Одесса,*

*ул. Мечникова, 34*

*E-mail: avas@paco.net*

Хладагенты R32, R125 и R134a применяются в холодильных установках как в чистом виде, так и в составе бинарных и тройных смесей. Они отвечают базовым требованиям для рабочих веществ, их озоноразрушающий потенциал равен нулю. Для проектирования холодильных установок необходимы данные о вязкости и теплопроводности хладагентов. Эти свойства удобно рассчитывать с помощью уравнений, составленных на основе экспериментальных данных.

В таблице 1 представлены краткие сведения о данных, использованных нами при составлении уравнений для вязкости и теплопроводности R32,R125 и R134a.Данные о вязкости взяты соответственно из 9, 11 и 16 статей, а данные о теплопроводности––из 8, 13 и 17 статей.

Таблица 1. Сведения об экспериментальных данных, использованных при составлении уравнений для вязкости и теплопроводности R32, R125 и R134a

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Веще-ство | Данные о вязкости | | | Данные о теплопроводности | | |
| Число точек | Интервалы параметров | | Число точек | Интервалы параметров | |
| Δ*р*, МПа | Δ*Т*, К | Δ*р*, МПа | Δ*Т*, К |
| R32 | 229 | 0,2…9,8 | 232…423 | 649 | 0,2…10 | 223…466 |
| R125 | 286 | 0,2…7,8 | 230…423 | 661 | 0,2…10 | 228…513 |
| R134a | 368 | 0,2…6,0 | 248…439 | 640 | 0,2…10 | 248…533 |

Существующие уравнения для расчёта вязкости η и теплопроводности λ газов и жидкостей в широкой области параметров представлены через независимые переменные температуру *Т* и плотность ρ [1,2]. Поэтому уравнения для расчёта свойств переноса трёх хладагентов составлены нами в форме, приведенной ниже для вязкости:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где индексом 0 обозначены свойства при атмосферном давлении.

В уравнении (1) размерность вязкости –– мкПа·с, теплопроводности –– мВт/(м·К), плотности ––кг/м3, температуры –– К.

Уравнение (1) удовлетворяет предельному условию, так как при атмосферном давлении обе его части становятся равными нулю. В комплексе с такими уравнениями необходимо использовать надёжные уравнения состояния для расчёта плотности при известных значенияx давления и температуры, соответствующих опытным данным. Так, для расчёта плотности R32 и R125 были использованы уравнения состояния, представленные в [3], а для R134a –– уравнение, приведенное в [4].

По экспериментальным данным методом наименьших квадратов определены коэффициенты уравнений для вязкости и теплопроводности с учетом веса данных. Эти коэффициенты, а также средние квадратические δηср (δλср) и максимальные отклонения δηмакс (δλмакс) экспериментальных данных от рассчитанных по уравнениям представлены в таблицах 2 и 3.Уравнения достаточно простой формы описывают регулярную часть теплопроводности и не отображают резкий рост этого свойства в критической области.

Таблица 2. Коэффициенты уравнения (1) для расчёта вязкости фреонов и отклонения опытных данных от рассчитанных

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Коэффи-  циенты | Вещество | | |
| R32 | R125 | R134a |
| *a*11 | 5,6115·101 | 8,7962·101 | 2,2000·102 |
| *a*12 | –3,5116·10-1 | –5,4176·10-1 | –1,2891·100 |
| *a*13 | 5,2029·10-4 | 8,3366·10-4 | 1,8416·10-3 |
| *a*21 | 1,2237·10-1 | 5,1873·10-2 | 3,9239·10-2 |
| *a*22 | 1,7012·10-4 | –8,1902·10-5 | 0 |
| *a*23 | –7,9384·10-7 | 0 | 0 |
| *a*31 | –7,0359·10-5 | 0 | 0 |
| δηср, % | 1,3 | 1,6 | 1,4 |
| δηмакс, % | 3,1 | 3,6 | 3,6 |

Таблица 3. Коэффициенты уравнения (1) для расчёта теплопроводности фреонов и отклонения опытных данных от рассчитанных

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Коэффи-  циенты | Вещество | | |
| R32 | R125 | R134a |
| *a*11 | –1,2643·101 | –9,3369·100 | 1,9555·101 |
| *a*12 | 1,2832·10-1 | 5,7785·10-2 | –2,2361·10-2 |
| *a*13 | –1,0986·10-4 | –4,8028·10-5 | 3,9502·10-5 |
| *a*21 | 1,1076·10-2 | 7,6813·10-3 | 9,8609·10-4 |
| *a*22 | 3,6320·10-5 | 0 | 0 |
| δλср, % | 1,5 | 1,5 | 1,8 |
| δλмакс, % | –3,6 | –3,7 | 3,3 |

Также на основании опытных данных были составлены уравнения для вязкости и теплопроводности трёх хладагентов при атмосферном давлении

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Уравнения описывают данные в интервалах температур, указанных в таблице 1, со средними квадратическими погрешностями от 0,1 до 0,9% и максимальными от 1,1 до 2,4%. При составлении этих уравнений для R32, R125 и R134a использованы соответственно 19, 6 и 10 значений вязкости и 42, 44 и 58 значений теплопроводности.

Для расчёта плотности исследуемых хладагентов при атмосферном давлении составлено следующее уравнение:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (3) |

В таблице4 приведены коэффициенты уравнений (2) и (3) для расчёта вязкости и плотности при атмосферном давлении трёх фреонов, а в таблице 5 –– коэффициенты уравнения (2) для расчёта их теплопроводности.

Таблица 4. Коэффициенты уравнений для вязкости и плотности R32, R125 и R134a при атмосферном давлении

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Веще-ство | Коэффициенты | | | | |
| *b*0 | *b*1 | *b*2 | *c*1 | *c*2 |
| R32 | 5,7221·10-3 | 4,2000·10-2 | 0 | 6,1274·102 | 8,9754·103 |
| R125 | –1,6662·10-4 | 4,5963·10-2 | –8,7431·10-6 | 1,4265·103 | 1,7471·104 |
| R134a | –5,8528·10-4 | 4,1477·10-2 | –4,8686·10-6 | 1,1753·103 | 2,8049·104 |

Таблица 5. Коэффициенты уравнений для теплопроводности R32, R125 и R134a при атмосферном давлении

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Веще-ство | Коэффициенты | | | |
| *b*1 | *b*2 | *b*3 | *b*4 |
| R32 | 4,3939·10-2 | –9,1784·10-5 | 2,8945·10-7 | 0 |
| R125 | 0 | 2,3743·10-4 | –3,2840·10-7 | 2,0156·10-10 |
| R134a | –4,9949·10-3 | 2,2339·10-4 | –1,9038·10-7 | 0 |

Составленные уравнения, описывающие накопленные опытные данные с точностью, соответствующей точности эксперимента, можно рекомендовать для расчёта вязкости и теплопроводности трёх озонобезопасных хладагентов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. В.В. Алтунин.*Теплофизические свойства двуокиси углерода*. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 551с.

2. Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. *Справочник по теплопроводности жидкостей и газов.*– М.: Энергоатомиздат, 1990. –352с.

3. A.A. Vasserman, D.V. Fominsky. *Int. J. Thermophysics.* – 2001. – **V.22. –** No.4.– P. 1089 – 1098.

4. R. Tillner-Roth, H.D. Baehr. *J. Phys. Chem. Ref. Data.* – 1994. – **V. 23.–** No 5. – P. 657–729.