

А. А. Вассерман, Д. В. Фоминский

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ХЛАДАГЕНТА R32

Представлены значения термодинамических свойств (плотности, энтальпии и энтропии) альтернативного хладагента дифторметана (R32) на линии насыщения в интервале температур 200 – 345 К и в однофазной области при температурах 200 – 400 К и давлениях 0,1 – 10 МПа. Эти свойства рассчитаны с помощью единого уравнения состояния, которое с высокой точностью описывает экспериментальные термические и калорические данные. Выполнено сопоставление рассчитанных значений свойств с табличными данными других авторов.

Ключевые слова: дифторметан; плотность; термодинамические свойства; энтальпия; энтропия.

The values of thermodynamic properties (density, enthalpy and entropy) of the alternative refrigerant difluoromethane (R32) on the saturation line in the temperature range 200 – 345 K and in the single-phase region at temperatures 200 – 400 K and pressures 0,1 – 10 MPa are presented. These properties were calculated by means of the unified equation of state which describes the experimental thermal and caloric data with high precision. A comparison of calculated values for properties with tabulated data of other authors was fulfilled.

Key words: density; difluoromethane; enthalpy; entropy; thermodynamic properties.

I. ВВЕДЕНИЕ

Дифторметан (R32) является одним из перспективных хладагентов, поскольку его молекулы не содержат атомы хлора, разрушающего озоновый слой атмосферы. Поэтому международные соглашения [1,2] предусматривают использование R32, наряду с другими альтернативными хладагентами, для замены традиционных хладагентов. Это вещество представляет интерес и как возможное рабочее тело энергетических установок, предназначенных для использования теплоты низкого потенциала. Для проектирования установок использующих в качестве рабочего тела R32 (в чистом виде либо в смеси с другими веществами) необходимы данные о его термодинамических свойствах. К сожалению, существующие таблицы термодинамических свойств дифторметана [3-5] практически недоступны местным специалистам и к тому же таблицы [3,4] устарели, так как составлены на основании весьма ограниченного объема данных.

II. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R32

Наиболее рациональным путем получения взаимно согласованных данных о термодинамических свойствах вещества является расчет с помощью уравнения состояния, составленного на основании надежных экспериментальных данных. В настоящей работе рассчитаны термодинамические свойства R32 по составленной нами ранее [6] единому уравнению состояния для

газообразной и жидкой фаз. Оно описывает опытные p, ρ, T -данные [7-11] для однофазной области (1864 точки) и данные [12] об изохорной теплоемкости (73 точки) и теплоемкости жидкости вдоль кривой насыщения (101 точка) со средними квадратическими отклонениями 0,10; 0,31 и 0,85 % соответственно. Указанные данные в совокупности охватывают интервал температур 141 – 433 К, причем максимальное давление для данных [7], представленных в интервале 150 – 375 К, составляет 72 МПа. Единое уравнение состояния [6] хорошо отображает также значения давления насыщенного пара и плотности насыщенных пара и жидкости, рассчитанные по уравнениям, полученным в работе [13] на основании большого числа экспериментальных данных. В интервале температур 140 – 340 К (при расчете с шагом 5 К) соответствующие значения средних квадратических отклонений составляют 0,16; 0,17 и 0,03 %.

Рассчитанные нами таблицы термодинамических свойств R32 охватывают область температур 180 – 500 К и давлений 0,05 – 70 МПа. Таблицы содержат значения плотности ρ , коэффициента сжимаемости Z , энтальпии h , энтропии s , теплоемкостей c_v и c_p , скорости звука w и адиабатного дроссель-эффекта μ для однофазной области и кривой насыщения. Значения свойств рассчитаны по формулам, полученным применительно к уравнению состояния [6], имеющему форму

$$\frac{F(\omega, \tau)}{RT} = \alpha_0(\omega, \tau) + \alpha(\omega, \tau), \quad (1)$$

где $F(\omega, \tau)$ – свободная энергия Гельмгольца; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; $\alpha_0(\omega, \tau)$ –