

## УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПАРА РТУТИ

Е. Р. Лихачев

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 27.02.2013 г.

**Аннотация:** найдено уравнение состояния пара ртути. Показано, что данное уравнение хорошо согласуется с экспериментальными данными, имеющимися в справочной литературе. Вычислены критические параметры пара ртути. Для нахождения критических параметров было использовано приведенное уравнение, в которое входят эти параметры. Приведенное уравнение в свою очередь получено из уравнения состояния. Вычисления проведены с использованием экспериментальных данных. Рассчитанные критические параметры также хорошо согласуются с вспомогательным уравнением, появляющимся при переходе от уравнения состояния к приведенному уравнению.

**Ключевые слова:** реальный газ, пар ртути, уравнение состояния.

**Abstract:** the equation of mercury vapor state was derived. It is shown that this equation is in good agreement with the literature experimental data. The critical parameters of mercury vapor were calculated. To find the critical parameters the reduced equation was used, which includes these parameters. The reduced equation is in turn derived from the equation of state. The calculations were based on the experimental data. The calculated critical parameters are also in good agreement with the additional equation, which appearing in the transition from the equation of state to the reduced equation.

**Keywords:** real gas, mercury vapor, equation of state.

В работе [1] было получено следующее уравнение состояния реального газа:

$$\left[ P + \frac{a}{(V+c)^k T^m} \right] (V-b) = RT, \quad (1)$$

где  $a, b, c, k, m$  — постоянные величины. Это уравнение хорошо передает количественные соотношения между параметрами  $P, V, T$  реальных газов. Однако при проверке этого соотношения в [1] среди исследованных газов не было паров металлов. Поэтому представляет интерес проведение такой проверки для пара ртути — единственного металла, для которого имеются экспериментальные данные в справочнике [2].

Уравнение (1) имеет особую точку, являющуюся точкой перегиба на одной из  $P - V$  изотерм. Обозначим координаты этой точки  $P_c, V_c, T_c$ . В точке перегиба первая и вторая производные давления по объему равны нулю

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_{T_c} &= 0, \\ \left( \frac{\partial^2 P}{\partial V^2} \right)_{T_c} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Используя условие (2), можно получить приведенное уравнение следующего вида

$$\left[ \pi + \frac{\alpha}{\omega^k \tau^m} \right] (\alpha\omega - 1) = \frac{4k}{(k-1)^2} \tau, \quad (3)$$

где введены следующие обозначения  $\alpha = \frac{k+1}{k-1}$ ,  $\omega = \frac{\varphi+\nu}{1+\nu}$ . Здесь  $\pi = \frac{P}{P_c}$ ,  $\varphi = \frac{V}{V_c}$ ,  $\tau = \frac{T}{T_c}$  — приведенные параметры,  $\nu = \frac{c}{V_c}$  — величина, появляющаяся в (3) вместо постоянной  $c$ , входящей в (1).

Так как уравнение (3) содержит 6 неизвестных величин ( $P_c, V_c, T_c, k, m, \nu$ ), а уравнение (1) только 5 ( $a, b, c, k, m$ ), то между величинами уравнения (3) появляется следующая зависимость:

$$\frac{P_c V_c}{R T_c} = \frac{k^2 - 1}{4k(1 + \nu)}. \quad (4)$$

Константы  $a, b$  и  $c$  из уравнения (1) связаны с величинами, входящими в уравнение (3), следующими соотношениями:

$$a = \frac{(k+1)^2}{4k} \cdot (1 + \nu)^{k-1} \cdot R \cdot T_c^{m+1} \cdot V_c^{k-1},$$

$$b = \frac{k-1-2\nu}{k+1} \cdot V_c,$$

$$c = \nu \cdot V_c.$$

В настоящей работе уравнение (3) было использовано для определения констант  $P_c, V_c, T_c, k, m, \nu$ . Для этого указанные константы подбирались таким образом, чтобы при заданных значениях  $V$  и  $T$  (взятых из справочника [2]) величина  $P$ , рассчитанная по формуле (3), наилучшим образом совпадала с табличной величиной из [2].

Все величины выражаем в тех единицах, в которых они даны в справочнике:  $P$  в барах,  $V$  в м<sup>3</sup>/кг,  $T$  в К. В результате были получены следующие значения параметров:  $P_c = 679$  бар,  $V_c = 2.27 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/кг,  $T_c = 1170$  К,  $k = 2$ ,  $m = 0.47$ ,  $\nu = 0.18$ .

Так как для нахождения всех величин кроме  $R$ , входящих в уравнение (4), было использовано уравнение (3), не содержащее  $R$ , то уравнение (4) может служить для определения величины газовой постоянной. Если все величины, входящие в уравнение (4), выразить в указанных выше единицах, то получим следующее выражение:

$$R = \frac{400k(1 + \nu)M}{k^2 - 1} \cdot \frac{P_c V_c}{T_c}, \quad (5)$$

где  $M$  — молекулярный вес ( $M = 200.59$  [2]). Вычисленная по этой формуле величина  $R = 8.315$  Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> хорошо согласуется с табличным значением  $R = 8.3144$  Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>, что подтверждает справедливость уравнения (4).

Уравнение (1), параметры которого выражены в указанных выше единицах, принимает следующий вид:

$$\left[ P + \frac{A}{(V + C)^k T^m} \right] (V - B) = \frac{RT}{100M}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{k+1}{k-1} \cdot (1 + \nu)^k \cdot P_c \cdot V_c^k \cdot T_c^m,$$

$$B = \frac{k-1-2\nu}{k+1} \cdot V_c,$$

$$C = \nu \cdot V_c.$$

Подставив в (5) найденные параметры, получим следующую расчетную формулу:

$$P = \frac{4.1453 \cdot 10^{-4} T}{V - 4.8427 \cdot 10^{-5}} - \frac{4.0444 \cdot 10^{-3}}{(V + 4.086 \cdot 10^{-5})^2 T^{0.47}}. \quad (7)$$

Давления, рассчитанные по формуле (7), отличаются от табличных меньше чем на 0.05%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] *Фогельсон Р.Л.* Уравнение состояния реального газа / Р.Л. Фогельсон, Е.Р. Лихачев // ЖТФ. – 2004. – Т. 74, Вып. 7. – С. 129–130.

[2] *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

*Лихачев Е.Р., к.ф.-м.н., ассистент кафедры  
физики твердого тела и наноструктур ВГУ  
E-mail: lih73@mail.ru  
Тел.: (473)220-83-63*

*Likhachev E. R., Assistant of Solid State Physics  
and Nanostructures Department of Voronezh  
State University  
E-mail: lih73@mail.ru  
Tel.: (473)220-83-63*