

эффективное тепловое сопротивление, и эффективный коэффициент теплопроводности зоны контакта:

$$\begin{aligned} R_{eff} &= Q_{cp} / (T_1 - T_2); \\ \lambda_{eff} &= \delta / R_{eff} \end{aligned} \quad (3)$$

На основе представленной модели разработана программа расчета зоны контакта двух поверхностей. Она позволяет методом вычислительного эксперимента рассчитывать тепловые характеристики зоны контакта двух поверхностей при вариации большого числа исходных параметров: материал контактов, среда заполнения, геометрические характеристики зоны контакта.

Литература

1. Меснянкин, С.Ю. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел / С.Ю. Меснянкин, А.Г. Викулов, Д.Г. Викулов // Успехи физических наук. Том. 179: Приборы и методы исследования. – 2009 – № 9. – С. 950.
2. Берман, Р. Теплопроводность твердых тел / Р. Берман. – Москва: Мир, 1979. – 287 с.

И.В. Сулковская (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ТОЧКА БОЙЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ НЕИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Для описания термодинамических свойств неидеальных газов используют различные уравнения состояния, имеющие более или менее строгое теоретическое обоснование [1]. Неидеальные газы хорошо описываются уравнением состояния идеального газа при высоких температурах и низких давлениях, но при понижении температуры и повышении давления это описание становится некорректным и возникает необходимость модификации уравнения состояния с учетом характера парного межмолекулярного взаимодействия. Такого рода модифицированные уравнения состояния уже неидеального газа называется полуэмпирическими. Важнейшее значение при сопоставлении результатов, получаемых из двухпараметрических уравнений состояния, с экспериментальными данными имеет положение температурной точки Бойля. А именно, точки минимума изотермы реального газа, лежащей на оси абсцисс. В научной литературе существуют и прочие определения точки

Бойля, но будем рассматривать именно данное определение. В приведенной форме критерий данной точки:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{V}} \right)_{\tilde{T}_B} = 0, \\ \tilde{P}(\tilde{T}_B, \tilde{V}_B) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим приведенные формы двухпараметрических уравнений состояния, таких как уравнение Ван-дер-Ваальса, уравнение Бертло, второе уравнение Дитеричи и уравнение Редлиха-Квонга. И определим координаты их точек Бойля в $\tilde{P}\tilde{V}$ -плоскости. Напомним также, что приведенные термодинамические переменные через критические параметры задаются соотношениями [1]:

$$\tilde{T} = \frac{T}{T_{кр}}, \quad \tilde{P} = \frac{P}{P_{кр}}, \quad \tilde{V} = \frac{V}{V_{кр}}. \quad (2)$$

В этих переменных уравнение Ван-дер-Ваальса принимает вид [1]:

$$\tilde{P} = \frac{8\tilde{T}}{3\tilde{V} - 1} - \frac{3}{\tilde{V}^2}. \quad (3)$$

Используем уравнение (3) и согласно критерию (1) получаем:

$$\begin{cases} -\frac{24\tilde{T}_B}{(3\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{6}{\tilde{V}_B^3} = 0, \\ \frac{8\tilde{T}_B}{3\tilde{V}_B - 1} - \frac{3}{\tilde{V}_B^2} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,844; \quad \tilde{V}_B = 0,667.$$

Приведенным уравнением Бертло является уравнение вида [1]:

$$\tilde{P} = \frac{8\tilde{T}}{3\tilde{V} - 1} - \frac{3}{\tilde{T}\tilde{V}^2}. \quad (4)$$

Для него:

$$\begin{cases} -\frac{24\tilde{T}_B}{(3\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{6}{\tilde{T}_B\tilde{V}_B^3} = 0, \\ \frac{8\tilde{T}_B}{3\tilde{V}_B - 1} - \frac{3}{\tilde{T}_B\tilde{V}_B^2} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,919; \quad \tilde{V}_B = 0,667.$$

Второе приведенное уравнение Дитеричи выглядит как [1]:

$$\tilde{P} = \frac{15\tilde{T}}{4\tilde{V} - 1} - \frac{4}{\tilde{V}^{5/3}}, \quad (5)$$

поэтому

$$\begin{cases} -\frac{60\tilde{T}_B}{(4\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{20}{3\tilde{V}_B^{8/3}} = 0, \\ \frac{15\tilde{T}_B}{4\tilde{V}_B - 1} - \frac{4}{\tilde{V}_B^{5/3}} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,875; \quad \tilde{V}_B = 0,625.$$

Следуя работе [2], приведенный вид уравнения Редлиха-Квонга следующий:

$$\tilde{P} = \frac{3\tilde{T}}{\tilde{V} - \xi} - \frac{1}{\xi\sqrt{\tilde{T}}\tilde{V}(\tilde{V} + \xi)}, \quad \xi = 0,260 \quad (6)$$

Из уравнения (6) находим:

$$\begin{cases} -\frac{3\tilde{T}_B}{(\tilde{V}_B - \xi)^2} + \frac{2\tilde{V}_B + \xi}{\xi\sqrt{\tilde{T}_B}\tilde{V}_B^2(\tilde{V}_B + \xi)^2} = 0, \\ \frac{3\tilde{T}_B}{\tilde{V}_B - \xi} - \frac{1}{\xi\sqrt{\tilde{T}_B}\tilde{V}_B(\tilde{V}_B + \xi)} = 0. \end{cases}$$

Следовательно, приведенная температура Бойля:

$$\tilde{T}_B = 0,895; \quad \tilde{V}_B = 0,628.$$

Визуализируем результат расчета, следуя [3], построив графики изотерм Бойля для рассмотренных уравнений состояния:

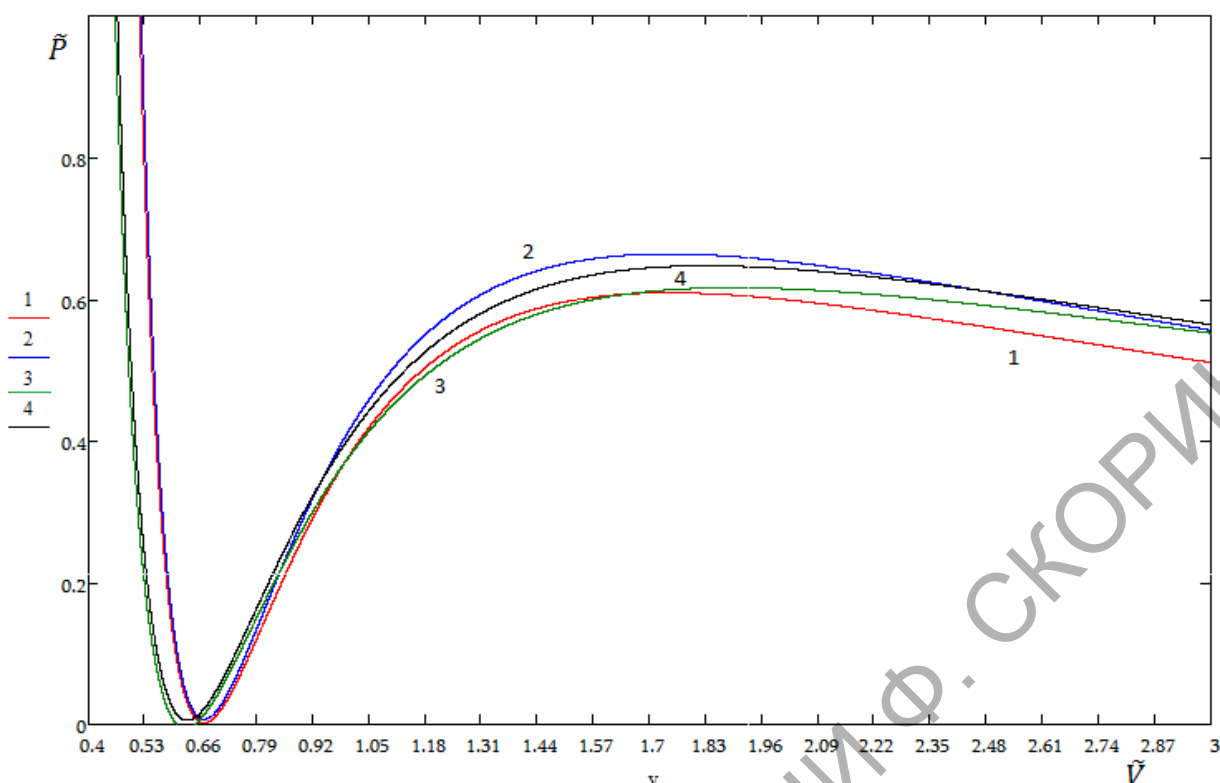


Рисунок 1 – Графики изотерм Бойля для двухпараметрических уравнений состояния в приведенных координатах (1 – Ван-дер-Ваальс; 2 – Бертло; 3 – второе Дитеричи; 4 – Редлих-Квонг)

Таким образом, в работе определены координаты температурной точки Бойля для четырех наиболее используемых двухпараметрических полуэмпирических уравнений состояния неидеального газа (3)-(6). При расчете использованы приведенные формы уравнений, что делает результат независимым от вида реального газа. Построены графики соответствующих изотерм Бойля в $\tilde{P}\tilde{V}$ - плоскости.

Литература

1. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статическая физика и кинетика / Ю.Б Румер, М.Ш. Рывкин. – Новосибирск: Издательство НГУ, 2007. – 446 с.
2. Дей, Е.А. Расчет параметров изохнтальпического охлаждения газов Редлиха-Квонга / Е.А. Дей, О.В. Новикова, Г.Ю. Тюменков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (93). – С. 38 – 42.
3. Дей, Е.А. Кривые инверсии эффекта Джоуля – Томсона для обобщенного уравнения Ван-дер-Ваальса / Е.А. Дей, Г.Ю. Тюменков // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2015. – № 6 (93). – С.117–120.