

УДК 533.1

А. В. Троценко

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, 65026, г. Одесса, Украина

## ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ УРАВНЕНИЯМИ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВСКОГО ТИПА

*Показано, что при расчете термодинамических свойств смесей веществ по уравнению состояния ван – дер – ваальсовского типа можно использовать для компонентов различные модификации этого уравнения состояния. Предложено решение задачи парожидкостного равновесия для кубических уравнений состояния в приведенных координатах, не зависящее ни от рода вещества, ни от модификаций этих уравнений. Рассмотрены особенности моделирования термодинамических свойств гелия с помощью кубических уравнений состояния.*

**Ключевые слова:** уравнение состояния; правила комбинирования; чистое вещество; смесь; парожидкостное равновесие; моделирование; гелий.

*It is shown that calculations of thermodynamic properties by van – der – Waals type equation of mixes of substances state may be carried out using different modifications of this equation for components. The solving for problem of vapour – liquid equilibria in dimensionless form applied to cubic equations of state is proposed. The obtained solutions are independent of chosen substances and modifications of cubic equations of state. Essential singularities of modeling of helium thermodynamic properties by cubic equations of state are discussed.*

**Key words:** equation of state; mixing rules; pure substance; mixture; vapour – liquid equilibria; modeling; helium.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Кубические уравнения состояния (КУС) нашли широкое применение при моделировании термодинамических свойств криогенных и холодильных веществ, проектировании установок низкотемпературной техники.

Можно выделить следующие основные направления использования этого вида уравнений состояния:

1. Моделирование термодинамических свойств малоисследованных чистых веществ, для которых существует небольшой объем экспериментальной информации.

2. Расчет термодинамических свойств многокомпонентных рабочих тел холодильной и криогенной техники. Именно это направление является наиболее актуальным и интенсивно развивающимся. Для многих холодильных и криогенных агентов разработаны достаточно надёжные единые уравнения состояния, описывающие термодинамическую поверхность в широком диапазоне температур и давлений. Однако, по ряду причин, их невозможно использовать для расчета свойств смесей, компонентами которых являются эти вещества.

3. Выполнение расчетов элементов и схем в задачах оптимизации и термодинамического анализа, где основной целью является получение качественных результатов и выводов.

Известны многочисленные работы, посвященные исследованию особенностей и качества КУС, а также разработке различных модификаций этого вида

уравнений состояния. В частности, в статье [1] приведены алгоритмы расчета и проанализирована точность определения термодинамических свойств фреонов и их смесей при использовании уравнения состояния Редлиха – Квонга – Вильсона. На основе этого же уравнения состояния оценено влияние точности определения термодинамических функций рабочего тела на энергетические и эксергетические показатели цикла Линде [2].

Несмотря на долгую историю и обширные исследования КУС, интерес к ним не пропадает, а, наоборот, появляются всё новые работы по их осмыслению и усовершенствованию.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей разработки и использования КУС ван – дер – ваальсовского типа для описания термодинамических свойств таких низкотемпературных криогенных веществ, как гелий, водород, неон, рассматривая их прежде всего как компоненты смесей.

### II. КУБИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВАН – ДЕР – ВААЛЬСОВСКОГО ТИПА

К рассматриваемым КУС ван – дер – ваальсовского типа, именуемым далее просто КУС, относятся:

– уравнение Ван – дер – Ваальса (W)

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}; \quad (1)$$

– уравнение Редлиха – Квонга (RK) и его модификации, записанные в виде