

**В.И. Недоступ**, доктор техн. наук; **О.В. Недоступ**, канд. техн. наук

Физико-химический институт им. А.В. Богатского НАН Украины, Лютдорфская дорога, 86, г. Одесса, Украина, 65080

e-mail: physchem@paco.net

## ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РАВНОВЕСНОЙ, ПЕРЕГРЕТОЙ И ПЕРЕОХЛАЖДЁННОЙ ЖИДКОСТИ

*Термодинамическое поведение ряда жидкостей можно описать простым изотропным потенциалом межмолекулярного взаимодействия. К таким жидкостям относятся в первую очередь сжиженные технически важные газы — рабочие тела холодильных, криогенных и энергетических установок. Предложена модель жидкого состояния, основанная на анализе поведения равновесной с паром, перегретой и переохлаждённой до температуры 0 К жидкости. Полученное в итоге уравнение состояния, включающее кривую идеального газа и так называемую холодную изотерму, соответствующую температуре 0 К, отличается простотой и достаточной для термодинамического обеспечения расчётов точностью.*

**Ключевые слова:** Криоагенты. Хладагенты. Термодинамика. Жидкость. Спинодаль. Бинодаль. Уравнение состояния.

### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$a, b, \alpha, \beta, K$  — коэффициенты уравнений;  
 $B, C$  — второй и третий вириальные коэффициенты;  
 $H$  — энтальпия;  
 $P$  — давление;  
 $S$  — энтропия;  
 $T$  — температура;  
 $U$  — внутренняя энергия;  
 $V$  — удельный объём;  
 $Z$  — коэффициент сжимаемости;  
 $\rho$  — плотность.

### Индексы верхние:

" — насыщенная жидкость.  
 ' — насыщенный пар.

### Индексы нижние:

Б — Бойля;  
 КИГ — кривая идеального газа;  
 КР — критический;  
 сп — спинодаль;  
 $i$  — внутренние;  
 $t$  — термический;  
 $x$  — принадлежащий нулевой изотерме;  
 0 — плотность при 0 К.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Термодинамическая поверхность жидкости, если пренебречь реальным существованием твёрдой фазы, ограничена двумя кривыми: спинодалью — пределом существования перегретой метастабильной жидкости

и так называемой холодной изотермой в переохлаждённой до 0 К жидкости. В области равновесной жидкости, ограниченной бинодалью, центральное место занимает так называемая кривая идеального газа или по американской терминологии ZENO-линия — кривая, где выполняется условие, справедливое для идеального газа  $PV=RT$ . Для жидкого состояния характерны и другие идеальные кривые: кривая Бойля, инверсии, идеальной энтальпии и др. Комплексный подход к рассмотрению этих характерных состояний позволяет сделать заключение о структуре уравнения состояния жидкости для конкретного потенциала межмолекулярного взаимодействия.

### 2. КРИВАЯ НАСЫЩЕНИЯ

В настоящем разделе получено уравнение для плотности насыщенной жидкости, связанное с такими характерными состояниями, как критическая точка и холодная изотерма.

В основу дальнейших рассуждений положен экспериментально обнаруженный факт, что плотность на жидкостной ветви бинодали, при её экстраполяции до 0 К, совпадает с плотностью на кривой идеального газа в точке  $T=0$ . Более того, в этой точке кривая идеального газа является касательной к кривой насыщения в координатах  $T, \rho$ .

Впервые этот факт был обнаружен Л.А. Серовским [1] и «переоткрыт» через 20 лет в ряде англоязычных работ [2-4], где представлено теоретическое обоснование этого факта и предложена методика его практического использования в методах термодинамического подобия.

В соответствии с правилом прямолинейного диа-