

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

Хамза Аль - Рухия

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Специальности: 05.14.05 - теоретические основы теплотехники  
01.04.14 - теплофизика и молекулярная физика

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1995



00754440 (O)

AB 32.085

Робота виконана в Одеській Державній Академії Холода

Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор  
В.П. Онисьченко

Офіційні опоненти - доктор фізико-математичних наук,  
професор С.М. Контус

- кандидат технічних наук, доцент  
Н.И. Лаврент

Ведущая організація - Одеський Державний Університет  
імені І.І. Мечникова

Захист состоится "29" Марта 1995 г. в 11 часов  
на засіданні спеціалізованого Ради К.069.27.01 при  
Одеській Державній Академії Холода по адресу:  
270100, г. Одеса, ул. Петра Великого, 1/3.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОГАХ.  
Автореферат розослан "20" февраля 1995 г.

Учений секретар  
спеціалізованого Ради  
Д.Т.Я., професор

Р.К. Якульич



Иск. No 8

## Введение

В соответствии с решением Монреальского протокола и других последующих ему международных конференций в последнее пятилетие во многих странах мира интенсивно ведутся исследования новых озонобезопасных хладагентов. Основным интерес представляют их энергетические возможности (термодинамические свойства), медико-биологические характеристики, потенциал глобального потепления и др. В настоящее время стало ясно, что в чистом виде предлагаемые хладагенты не могут составить альтернативу бывшим хладагентам по энергетическим показателям. В то же время, бинарные, тройные смеси озонобезопасных хладагентов обещают быть более энергетичными, обеспечат повышение холодопроизводительности холодильных систем. В связи с большим числом перспективных смесей, разнообразием их возможных концентраций, трудностью и дороговизной экспериментальных исследований, представляет интерес разработка методов расчета термодинамических свойств таких смесей без привлечения или с привлечением ограниченного количества опытных данных. Такая методика должна базироваться, как для чистых веществ, так и для их смесей, на единой теоретической базе, чтобы обеспечить надежность получаемых данных и их согласованность между собой. В качестве такой базы нами выбрана теория возмущений в статистической теории жидкого состояния и вириальное уравнение состояния в газовой области. Поскольку озонобезопасные хладагенты - жидкости из многатомных полярных молекул, в качестве потенциала межмолекулярного взаимодействия выбрали потенциал Леннарда-Джонса с параметрами, зависящими от температуры, используя его для описания как газообразной, так и жидкой областей состояния. Основопологающие принципы такого подхода взяты из фундаментальных работ Роулинсона Дж., Баркера Дж., Хендерсона Д., Кассельмана П.М., Флешера И.З., Жуклы К., Паркуса Д., Левика Г. и др.

Целью работы явилось создание теоретически-обоснованной методики описания и само описание термодинамических свойств ряда чистых озонобезопасных хладагентов в их газовом и жидком состоянии на базе единого потенциала Леннарда-Джонса, с параметрами зависящими от температуры. При достижении такой цели возникает база для масштабного расчета термодинамических свойств различных смесей озонобезопасных хладагентов, поиска среди них новых альтернатив бывшим хладагентам.

Достижение поставленной цели работы обусловило необходимость решения таких частных задач как построение уравнения состояния для свободной энергии системы многоатомных молекул, взаимодействующих по потенциалу твердых сфер; построение уравнения состояния жидкости на уровне свободной энергии, давления, изотермической сжимаемости, в рамках теории возмущения Баркера-Хендерсона (ВН1) на языке структурного фактора вместо радиальной функции распределения; уточнение методов расчета приведенных вириальных коэффициентов для потенциала Леннарда-Джонса; разработка расчетных процедур выделения параметров потенциала с анализом сходимости функций и несобственных интегралов.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые термодинамические свойства озонобезопасных хладагентов рассмотрены в рамках современной теории статистической физики, получены данные о потенциалах межмолекулярного взаимодействия в хладагентах, разработана методика расчетов, позволяющая достигнуть согласования термических и калорических свойств между собой.

Научное положение, защищаемое в работе - эффективный потенциал Леннарда-Джонса с параметрами, зависящими от температуры, позволяет на базе вириального уравнения состояния в газовой области и теории возмущения в статистической физике жидкостей описать термодинамические свойства флюидов из полярных молекул с погрешностью на уровне погрешностей опытных данных, исключая окрестность критической точки жидкость-пар.

Основные научные результаты, полученные в работе:

1. Получены уравнения состояния для свободной энергии, давления и изотермической сжимаемости леннард-джонсоновского флюида в рамках теории возмущения Баркера-Хендерсона, выраженные через структурный фактор твёрдосферной системы частиц в приближении Перкуса-Левика.
2. Разработана методика выделения параметров потенциала Леннарда-Джонса из  $P-V-T$ -диаграмм в однофазных областях и на линии насыщения, которая апробирована на примере аргона.
3. Получены параметры эффективного потенциала Леннарда-Джонса для озонобезопасных хладагентов R23, R32, R116, R125, R134a, R152a, с помощью которых по разработанным уравнениям

описаны термодинамические свойства этих веществ в газовой и жидкой областях состояния с погрешностью на уровне погрешности экспериментальных данных.

4. Получены подробные таблицы термодинамических свойств хладагента R125 в газовой области как экспериментально малоизученного хладагента.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные нами данные могут быть использованы для расчета термодинамических свойств озонобезопасных хладагентов при проектировании холодильных установок, тепловых насосов с их использованием, для последующего расчета, анализа и выбора энергетически выгодных хладагентов-смесей, компонентами которых являются исследованные нами вещества как чистые хладагенты. Разработанная методика расчета термодинамических свойств может быть использована для создания информационных стандартов по свойствам озонобезопасных хладагентов.

Апробация работы. Основные результаты докладывались на научных конференциях и семинарах ОГАХ (1993 г., 1994 г.); на двух международных конференциях (Тамбов, 1992; Boulder (США), 1994).

Публикации. По теме диссертации опубликованы тезисы докладов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, списка использованных литературных источников (124 наименования). В ней содержится 12 стр. основного текста, в том числе 27 рисунков и 5 таблиц.

#### Содержание работы

Во введении представлена общая характеристика работы, обосновывается актуальность темы.

В первой главе представлено описание современного состояния проблемы замены озоноразрушающих хладагентов, результатов экспериментального исследования термодинамических свойств озонобезопасных хладагентов, используемых методов расчетно-теоретического описания их свойств в газовой и жидкой областях состояния, формулируются цели и задачи диссертационной работы.

Сделаю вывод о необходимости широкого изучения термодинамических свойств смесей озонобезопасных хладагентов, поиско-

льку они по прогнозным оценкам могут обладать лучшими энергетическими характеристиками, чем отдельные чистые озонобезопасные хладагенты. В то же время расчетно-теоретическое описание термодинамических свойств чистых хладагентов проведено многими авторами полиномиальными уравнениями состояния, уравнениями Редлиха-Квонга-Соаве, Пенга-Росинсона, в рамках которых расчет свойств смесей теоретически необоснован, требует дополнительной информации по свойствам самих смесей. Поэтому возникает необходимость построения теоретически обоснованной методики описания термодинамических свойств хладагентов в газовой и жидкой областях состояния. Такой методикой представляется теория конформальных растворов, в основу которой можно положить вириальное уравнение состояния газового и теорию возмущений в статистической физике жидкого состояния. При этом "конформальность" смеси может быть достигнута использованием единого модельного потенциала Леннарда-Джонса с параметрами, зависящими от температуры. Аргументированное обоснование выбора такого потенциала дано в работах проф. Рундкисона Дж., проф. Кесельмана П.М.

Вторая глава посвящена формулировке основных расчетных соотношений, разработке процедур выделения параметров потенциала Леннарда-Джонса из опытных данных по термодинамическим свойствам хладагентов, апробации этих процедур на примере аргона.

Учитывая итерационный характер ряда разработанных вычислительных процедур, были уточнены коэффициенты разложения в ряды для вириальных коэффициентов. Для второго и третьего вириальных коэффициентов суммировалось 80 членов ряда, что обеспечило сходимость рядов при приведенных температурах  $T^* \geq 0.1$ . Соответствующие значения четвертого и пятого вириальных коэффициентов были представлены полиномами, начиная с  $T^* = 0.65$ .

Исходным соотношением для расчета термодинамических свойств в жидком состоянии явилось выражение для свободной энергии  $F(\rho, T)$  в теории Баркера-Хендерсона, разработанное как для чистых веществ, так и для их смесей

$$F(\rho, T) = F_{HS}(\rho, T) + 2\pi N_A n \int_0^{\infty} g_0(\eta, R) \Phi(R) R^2 dR, \quad (1)$$

в котором  $F_{HS}$  является свободной энергией системы твердых сфер с учетом внутримолекулярных (идеально-газовых) энергетических состояний. В качестве межмолекулярного потенциала взаимодействия взят модельный потенциал Леннарда-Джонса

$$\Phi(R) = 4\epsilon(T) \left[ \left[ -\frac{\sigma(T)}{R} \right]^{12} - \left[ -\frac{\sigma(T)}{R} \right]^6 \right], \quad (2)$$

параметры которого определялись из условий описания свойств (P-V-T) газов и жидкой фаз, в рамках постулируемых зависимостей

$$\sigma(T) = \sigma_0(1 + \alpha_1 T), \quad \frac{\epsilon(T)}{k_B} = \beta_0 \exp(-\beta_1 T) \quad (3)$$

Предполагалось получение других термодинамических свойств численным дифференцированием значений свободной энергии (1) по температуре и плотности. Однако, громоздкость процедур для расчета радиальной функции распределения  $g_0(\eta, R)$  в приближении Перкуса-Яввика для системы твердых сфер, аппроксимационного характера соответствующих формул на больших расстояниях  $R$ , плохая сходимость интеграла (1), не могут обеспечить необходимой величины погрешности вычисляемых производных, особенно по температуре. В связи с этим, мы воспользовались известной взаимосвязью  $g_0(\eta, R)$  и структурным фактором  $S_0(\eta, q)$  для преобразования (1) к виду

$$\begin{aligned} \frac{F(\rho, T)}{RT} = & \frac{F_{HS}(\rho, T)}{RT} - \frac{32}{3T^*} \eta \left[ \frac{\sigma}{a} \right]^3 + \\ & + \frac{4}{\pi T^*} \left[ \frac{\sigma}{a} \right]^2 \int_0^\infty [S_0(\eta, x) - 1] f \left[ \frac{x\sigma}{a} \right] x dx, \end{aligned} \quad (2.16)$$

где эффективный диаметр соударения  $a$  твердых сфер (молекул) определялся соотношением

$$a = \int_0^\sigma \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Phi(R)}{k_B T}\right) \right] dR \quad (5)$$

на базе которого строится интерполяционное уравнение состояния

$$\left( \frac{PV}{RT} \right)_{HS} = \frac{1 + \eta + \eta^2 + \alpha\eta^3}{(1 - \eta)^3}, \quad \alpha = -1.5, \quad \eta = \frac{\pi}{6} \rho a^3 \quad (7)$$

Простая аналитическая форма  $S_0(\eta, x)$ , разделенность в ней аргументов  $\eta$  и  $x$ , позволяют провести аналитическое дифференцирование

$S_1 = \frac{\partial S_0}{\partial \eta}$ ,  $S_2 = \frac{\partial S_1}{\partial \eta}$  и получить явные уравнения состояния для давления  $P$  и изотермической сжимаемости  $\beta_T$ :

$$\begin{aligned} \frac{PV}{RT} = & \left( \frac{PV}{RT} \right)_{HS} - \frac{32}{3T^*} \eta \left[ \frac{\sigma}{a} \right]^3 + \\ & + \frac{4\eta}{\pi T^*} \left[ \frac{\sigma}{a} \right]^2 \int_0^\infty S_1(\eta, x) \cdot f \left[ \frac{x\sigma}{a} \right] x dx, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\beta_T^{-1} = \frac{6 \eta RT}{\pi N_A d^3} \left\{ \frac{1 + 4\eta + 4\eta^2 + 4\eta^3 \alpha - \alpha^4}{(1 - \eta)^4} - \frac{64\eta}{3T^*} \left( \frac{\sigma}{d} \right)^3 + \right. \\ \left. + \frac{4\eta}{\pi T^*} \left( \frac{\sigma}{d} \right)^2 \int_0^\infty [2 S_1(\eta, x) + \eta S_2(\eta, x)] f \left( \frac{x\sigma}{d} \right) x dx \right\}, \quad (9)$$

Подынтегральный множитель  $f(Z)$  в случае потенциала (2) описывается выражением

$$f(Z) = - \left[ \frac{Z^{10}}{10!} + \frac{Z^4}{4!} \right] \left[ \frac{\pi}{2} - St(Z) \right] + \quad (10) \\ + Sin(Z) \left[ - \frac{3}{20} + \frac{29}{720} Z^2 + \frac{51}{10!} Z^4 - \frac{31}{10!} Z^6 + \frac{1}{10!} Z^8 \right] + \\ + Cos(Z) \left[ - \frac{13}{180} Z + \left( \frac{1}{4!} - \frac{61}{4!} \right) Z^3 + \frac{41}{10!} Z^5 - \frac{21}{10!} Z^7 + \frac{1}{10!} Z^9 \right],$$

которое является "вычисляемым" при малых  $Z > 1$ . При  $Z > 20$  необходимо использовать асимптотическое представление

$$f(Z) = Cos(Z) \left[ - \frac{102}{Z^3} + \frac{22344}{Z^5} - \frac{5.61456 \cdot 10^6}{Z^7} + \right. \\ \left. + \frac{1.74436416 \cdot 10^9}{Z^9} - \frac{6.66810141 \cdot 10^{11}}{Z^{11}} + \dots \right] + \quad (11) \\ + Sin(Z) \left[ \frac{6}{Z^2} - \frac{1506}{Z^4} + \frac{345240}{Z^6} - \right. \\ \left. - \frac{9.635472 \cdot 10^7}{Z^8} + \frac{3.3262668 \cdot 10^{10}}{Z^{10}} + \dots \right] +$$

В итоге, численное дифференцирование свободной энергии используется только для получения значения энтропии и изохорной теплоемкости.

Апробация разработанной методики описания термодинамических свойств в газовой и жидкой докритических областях проведена на примере аргона. В рамках соотношения (3) получено

$\alpha_0 = 3.41 \text{ \AA}$ ;  $\alpha_1 = 0$ ;  $\theta_0 = 142.425 \text{ K}$ ;  $\theta_1 = 0.00155265 \text{ K}^{-1}$ ;  
При этом плотность жидкой и газообразной фаз описывается с погрешностью не выше 0.2 - 0.3%, изохорная теплоемкость в жидкости до 10%, что не превышает погрешности опытных данных в диапазоне температур от 85 до 140 К. Получено также, что более сложный характер зависимостей для  $\sigma(T)$  и  $\epsilon(T)$ , чем (3), может обеспечить меньшие погрешности описания. Полученные значения

эффективных диаметров (5) согласуются с данными рентгенографического исследования жидкого и газообразного аргона вблизи критической точки равновесия жидкость-пар (Mikolaj P., 1967).

Третья глава диссертации посвящена исследованию термодинамических свойств озонобезопасных хладагентов R23 и R32 метанового ряда. Из них молекулы R32 обладают большим дипольным моментом. Выделение параметров потенциала Леннарда-Джонса проведено только в рамках зависимостей (3), соответствующие коэффициенты этих зависимостей представлены в табл. 1.

Только для R23<sup>o</sup> имеются экспериментальные данные по изохорной теплоемкости на линии насыщенной жидкости, для R32 такой информации нет. Погрешность в описании изохорной теплоемкости R23 составила величину до 15% в докритической области температур. Плотность R23 на линии насыщения газа и жидкости описываются с погрешностью до  $\pm 1.7\%$ , в однофазной газовой области менее 1%. Данные по термодинамическим свойствам R32 менее многочисленны. Имеющиеся данные по плотности газовой и жидкой фаз описываются с погрешностью до  $\pm 2\%$ . Характер согласованности расчетных и экспериментальных величин иллюстрируется на рис. 1, 2.

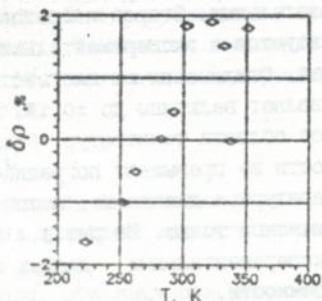
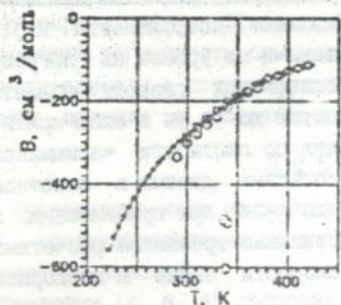


Рис.1. Сравнение расчетных (сплошная линия) и экспериментально полученных значений второго вириального коэффициента для R32 различными авторами

- ◇ - Defibaugh et al. (1992);
- - Qian et al. (1993);
- - Sato et al. (1993).

Рис.2. Сравнение расчетных и экспериментальных значения плотности газовой и жидкой фаз для R32

- ◇ - JAR (1994).

В целом, надо сделать вывод о том, что для R32 в особенности, нужно использовать более сложные зависимости, вместо (3), если преследовать цель более точного описания экспериментальных данных.

В четвертой главе представлены результаты анализа термодинамических свойств озонобезопасных хладагентов R116, R125, R134a, R152a, представляющих собой ряд фторированных этанов. Полученные зависимости (3) для этих хладагентов представлены в табл. 1.

Плотности хладагента R116 описываются с погрешностью до  $\pm 1.5 - 2\%$  в газовой и жидкой фазах.

Плотности насыщенной жидкости R125 описаны с погрешностью до  $\pm 0.8\%$ , изохорная теплоемкость в жидком состоянии с погрешностью до  $\pm 10\%$ , второй вириальный коэффициент с погрешностью до  $4\%$ , однако по нему имеется всего три измерения. Недостаточность данных по термодинамическим свойствам R125 обусловила необходимость табуляции этих свойств в газовой области. Эти результаты представлены в приложении к диссертационной работе.

Хладагент R134a является, из всех рассмотренных, наиболее исследованным экспериментально. Поэтому сравнение расчетных и экспериментальных данных по этому хладагенту является наиболее показательным. Второй и третий вириальные коэффициенты R134a согласуются с экспериментальными данными на уровне их погрешностей. Отклонения по плотности в однофазной газовой области составляет величины до  $\pm 0.1\%$ , возрастая до  $-0.9\%$  в околокритической области температур. Отклонения по плотности насыщенной жидкости не превышают погрешности опытных данных в основном температурном диапазоне, возрастая до  $+2\%$  при приближении к критической точке. На рис. 3, 4 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных по скорости звука и изохорной теплоемкости.

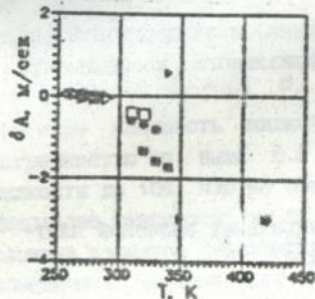


Рис. 3. Отклонение расчетных данных по скорости звука в однофазной газовой области от их экспериментальных данных различных авторов

- ▴ - 0.08 МПа;
- - 0.12 МПа;
- ★ - 0.50 МПа;
- - 2.0 МПа;
- ▣ - 5.0 МПа;

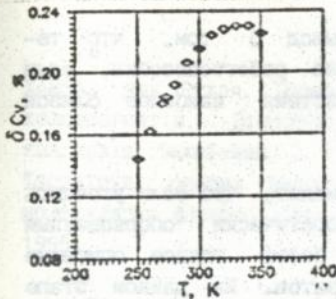


Рис. 4. Отклонения расчетных данных по изохорной теплоемкости насыщенной жидкости от их экспериментальных значения

◇ - Watanabe (1993).

Табл. 1

Значения коэффициентов зависимостей (3) для параметров потенциала межмолекулярного взаимодействия Леннарда-Джонса

Хлад-агент	$a_0, \text{Å}$	$a_1 \cdot 10^4, \text{Å}^{-1}$	$\epsilon_0, \text{К}$	$\epsilon_1 \cdot 10^3, \text{Å}^{-1}$	Диапазон температуры
R23	3.78770	4.26380	502.303	2.507373	200-290
R32	3.44992	6.11345	694.126	2.565473	225-345
R116	4.72118	1.99352	359.200	1.526833	190-285
R125	4.42264	3.23013	484.239	1.805063	225-330
R134a	4.73510	0.51826	738.358	2.437963	240-360
R152a	4.33890	2.21834	690.752	2.09553.5	250-380

Второй вириальный коэффициент R152 описан с погрешностью, не превышающей погрешность опытных данных. Плотности насыщенной жидкости описаны с погрешностью  $\pm 0.5\%$ , плотности в однофазной газовой области с погрешностью  $\pm 1\%$ .

## В В О Д Ы

Проведенные нами исследования, наряду с научными результатами, сформулированными во введении, позволяют сделать некоторые частные выводы:

1. Уравнения (4, 8, 9) содержат вклады, обусловленные межмолекулярным взаимодействием, из которых один зависит только от средней плотности флюида, а второй является структурнозависимым. При этом во всех перечисленных уравнениях структурнозависимый вклад является малым, что позволяет при выделении параметров потенциала межмолекулярного взаимодействия его не учитывать в начальных стадиях итерационного процесса.
2. Сопоставляя полученные результаты с данными других авторов по описанию термодинамических свойств жидкометаллического

состояния, следует сделать вывод о том, что теория возмущения Баркера-Хендерсона работоспособна, если потенциал межчастичного взаимодействия наиболее близок к истинному.

3. Полученные здесь результаты указывают, что если уточнить зависимости (3) каким-либо теоретически обоснованным методом, то можно получить более точное описание термодинамических свойств хладагентов. На данном этапе проведенных исследований можно лишь утверждать, что описание  $\sigma(T)$ , например, полиномами второй, третьей и более степеней не дает хорошего согласования свойств газовой и жидкой фаз на уровне вторых производных свободной энергии.
4. Достижимые погрешности описания свойств в газовой области не превышают погрешности опытных данных при бесконечном наборе различных пар зависимостей типа (3).

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

1. Хамза Аль-Рухая, Железный В.П., Овизенко В.П. Расчет фазовых равновесий в бинарных смесях озонобезопасных холодильных агентов / Теплофизические проблемы промышленного производства, тезисы докладов международной теплофизической школы. - Тамбов, 1992. - с. 45.
2. Onistchenko V.P., Zhelezny V.P., Hamza A.R., Vladimirov B.P. Thermodynamic properties of the alternative refrigerants in the gas and liquid region. Common description /Preprint of the twelfth symposium on thermophysical properties, June 1994, Boulder, Colorado, USA - 14 p.

#### Условные обозначения

$T$  - температура,  $C_V$  - изохорная теплоемкость,  
 $V$  - мольный объем,  $k_B$  - постоянная Больцмана,  
 $P$  - давление,  $\beta_T$  - изотермическая сжимаемость,  
 $\rho$  - плотность,  $R$  - межмолекулярное расстояние,  
 $a$  - скорость звука,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  
 $\rho$  - частичная плотность,  $E$  - свободная энергия Гельмгольца,  
 $B(T)$  - второй вириальный коэффициент.

А Н О Т А Ц І Я

ХАМЗА Аль Рухая. Термодинамічні властивості озонобезпечних холодоагентів. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальностям: 05.14.05 - Теоретичні основи теплотехніки; 01.04.14 - Теплофізика та молекулярна фізика. Одеська державна академія холоду, Одеса, 1995.

Досліджено термодинамічні властивості озонобезпечних холодоагентів R23, R32, R116, R125, R134a, R152a методами використання віріального рівняння газового стану та теорії збурень Баркера-Хендерсона в статистичній фізиці рідинного стану речовини. Виведено розрахункові співвідношення для вільної енергії, ізотермічного стискування рідини, що виражені через структурний фактор, замість радіальної функції розподілу. Потенціал міжмолекулярної взаємодії вибраний модельним, Леннарда-Джонса з параметрами, залежними від температури. На цій основі досягнуто відображення експериментальних даних з похибкою на рівні похибки експериментальних значень густини, теплоємності, швидкості звуку, віріальних коефіцієнтів в докритичній області температур.

Ключові слова: Озонобезпечні холодоагенти, термодинамічні властивості, міжмолекулярна взаємодія, газ, рідина, рівняння стану, вільна енергія, структурний фактор.

ХАМЗА Ал-Рухая. Thermodynamical Properties of ozone-safe Refrigerants. The dissertation to achieve the degree of candidate of Engineering Sciences on speciality 05.14.05 -Theoretical background of Thermotechnics; 01.04.14 -Thermophysios and Molecular Physios. Odessa State Akademy of Refrigeration, Odessa, 1995.

Thermodynamical properties of ozone-safe refrigerants R23, R32, R116, R125, R134a, R152a were calculated with the help of virial equation of state (gas) and Barker-Henderson

perturbation theory of liquid state. Formulae for calculation of free energy, pressure, isothermal compressibility of liquid, which were expressed in terms of structural factor have been obtained. Potential function of Lennard-Jones type with the temperature dependent parameters was used as a model of the intermolecular interaction. On this grounds an errors in the description of experimental data on density, heat capacity, velocity of sound, virial coefficients were of the same values as the experimental ones in the subcritical temperature range.

Key words: ozone-safe refrigerants, thermodynamical properties, intermolecular interaction, gas, liquid, equation of state, free energy, structural factor.

Handwritten signature or initials.

Львівська З. Стефанюк України

г. Омск, ротапринт ОГАУ. Подписано к печати 15.02.95  
Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ 207-95

447896

AB 32.085

**AB 32.085**