

Автореферат  
Ш 37

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ШЕВЧЕНКО Георгий Захарович

УДК 621.564.25

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТНО-  
ФРЕОНОВЫХ И АЗОТНО-УГЛЕВОДОРОДНЫХ  
СМЕСЕЙ

01.04.14 - теплофизика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Перечислет 1983

Одесса - 1983

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор технических наук,  
доцент ГЕЛЕР В.З.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор ГРИГОРЬЕВ В.А.  
кандидат технических наук,  
ст.науч.сотр. КОЗЛОВ А.Д.

Ведущая организация - Физико-химический институт АН УССР.

Актуальность проблемы. Повышение эффективности использования машин и аппаратов в холодильной и криогенной технике связано с рациональным выбором рабочих тел, обладающими заданными свойствами. Для дроссельных рефрижераторных систем (ДРС) и систем расходного типа (СРТ) с тепловодом на уровне 80...120 К оптимальными свойствами характеризуются азотно-фреоновые и азотно-углеводородные смеси.

Применение таких смесей в ДРС и СРТ требует знания их теплофизических и, в первую очередь, термодинамических свойств, которые необходимы для оптимизации соответствующего оборудования и процессов. Вместе с тем, такие данные практически полностью отсутствуют и не могут быть получены без экспериментальных исследований.

Анализ показывает, что для условий работы ДРС и СРТ в состав смесей из группы фреонов могут быть включены фреоны R13 и R14, из группы углеводородов - пропилен. Эти вещества имеют температуру плавления не выше 100...115 К и в составе смесей при температуре тепловода находятся в парожидкостном состоянии.

Таким образом, актуальность темы диссертации определяется перспективностью применения азотно-фреоновых и азотно-углеводородных смесей в холодильной и криогенной технике и отсутствием данных об их термодинамических свойствах, которые необходимы для оптимизации технологических процессов и конструкторских разработок.

Работа выполнена в соответствии с координационными планами научно-исследовательских работ по комплексным проблемам "Теплофизика" АН СССР и "Разработка достоверных данных и создание массива стандартных справочных данных о теплофизических свойствах технических важных газов и жидкостей", проводимых в нашей стране в 1981...1985 гг. (приказ Минвуза СССР № 1022 от 28.10.1977 г.).

Цель работы.

1. Экспериментальное исследование сжимаемости систем азот-фреон R13, азот-фреон R14, фреон R13-фреон R14, азот-пропилен, азот-фреон R13-фреон R14, обобщение опытных данных и составление таблиц справочных данных о термодинамических

в 10  
К 061  
мышл  
Свер

v 014535

техн  
носс

Автор: Шевченко Г.  
Ш 134 Термодин  
свойства азотно-  
v 014535 1983 8/4  
Физико-химический институт АН УССР

27 января 1984 года  
сированного совета  
ститута пищевой про-  
70039, Одесса, ул.

блиотеке Одесского  
енности им. М.В. Ломо-

ОНАХТ 10.05.12  
Термодинамические св



v014535

Алькин Г.И.

спе

12

Одесский тех. институт  
институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

v 014535

войствах смесей.

2. Разработка методики расчета термических свойств азотно-фреоновых и азотно-углеводородных двух- и многокомпонентных систем.

Научная новизна. Впервые получены экспериментальные данные о сжимаемости бинарных смесей азот-фреон R13, азот-фреон R14, фреон R13-фреон R14, азот-пропилен и трехкомпонентной смеси азот-фреон R13-фреон R14 в широком диапазоне концентраций при температурах 240...425 К и давлений до 25 МПа.

Впервые при экспериментальном исследовании сжимаемости смесей методом пьезометра постоянного объема получены изломы на изохорах, соответствующие точкам фазового перехода жидкость-пар.

Разработана внутренне согласованная методика составления уравнения состояния, позволяющая при обработке опытных данных учитывать выполнение критических условий, условий термодинамического равновесия фаз на границе жидкость-пар и т.д. На основе методики составлены высокоточные уравнения состояния для азота, фреонов R13, R14 и пропилена.

Показана возможность расчета термодинамических свойств сложных хладагентов, представляющих собой азотно-фреоновые и азотно-углеводородные смеси, на основе уравнений Бенедикта-Вебба-Рубина (БВР) и Старлинга.

Впервые рассчитаны таблицы термодинамических свойств смесей  $N_2$ -R13,  $N_2$ -R14,  $N_2$ - $C_3H_8$ , R13-R14,  $N_2$ -R13-R14 в интервале температур 230...450 К и давлений 0,1...20 МПа.

Автор защищает:

- результаты экспериментального исследования сжимаемости бинарных смесей азот-фреон R13, азот-фреон R14, азот-пропилен, фреон R13-фреон R14 и тройной смеси азот-фреон R13-фреон R14 в широком диапазоне концентраций, температур и давлений;

- вывод о соответствии изломов на экспериментальных "квазиизохорах" точкам фазового перехода жидкость-пар;

- метод составления уравнений состояния по опытным данным о термических и калорических свойствах с учетом выполнения ряда условий; составленные по этой методике уравнения состояния для азота, фреонов R13, R14 и пропилена;

- методику расчета термодинамических свойств двух- и многокомпонентных азотно-фреоновых и азотно-углеводородных смесей;

- таблицы термодинамических свойств (плотность, энтальпия, энтропия, изобарная и изохорная теплоемкости) смесей азот-фреон

R13, азот-фреон R14, азот-пропилен, фреон R13-фреон R14, азот-фреон R13-фреон R14.

Практическая ценность. Таблицы термодинамических свойств азотно-фреоновых и азотно-углеводородных смесей, охватывающие широкий диапазон параметров состояния, могут быть использованы при теплотехнических расчетах и разработке машин и аппаратов для холодильной и криогенной техники.

Реализация результатов работы. Данные о термодинамических свойствах сложных хладагентов использованы Советской комиссией по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, ОТИП (г.Одесса) и другими организациями. Справки об использовании результатов работы прилагаются к диссертации.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены и обсуждены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им.М.В.Ломоносова (Одесса, 1976...1980 гг.); Всесоюзном совещании "Перспективы развития и применения микрокриогенной техники" (Омск, 1977 г.); Всесоюзной научной конференции "Совершенствование процессов, машин и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха" (Ташкент, 1977 г.); Всесоюзной научной конференции "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания" (Харьков, 1981 г.); Всесоюзной технической конференции по холодильному машиностроению (Москва, 1982 г.); Всесоюзной конференции по теплофизическим свойствам веществ (Ташкент, 1982 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 230 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 147 наименований и приложений. Работа содержит 18 таблиц и 27 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Экспериментальное исследование термических свойств

Для изучения сжимаемости созданы две экспериментальные установки (рис.1), реализующие метод пьезометра постоянного объема. Использование двух установок связано с различными методиками заполнения пьезометров смесями, содержащими и не содер-

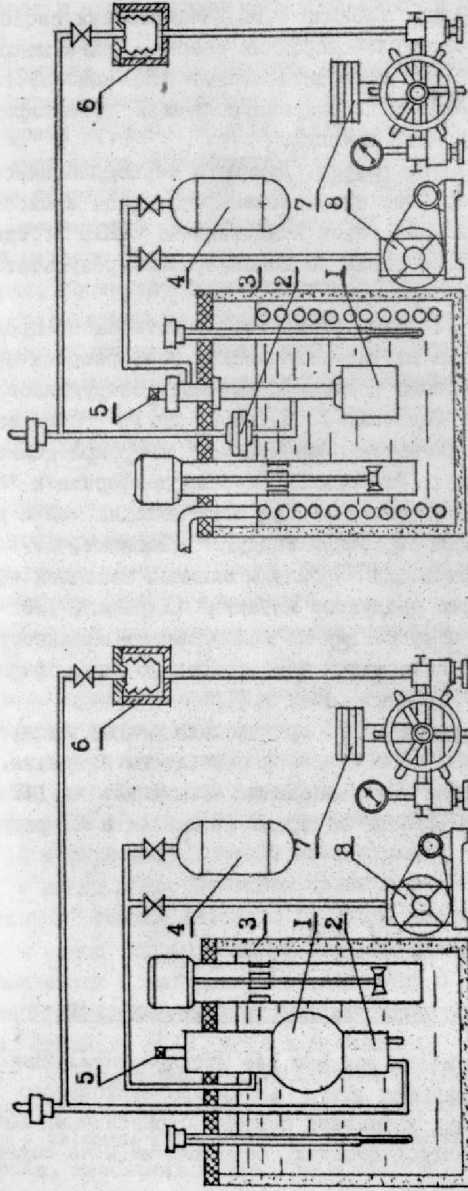


Рис. 1. Схемы экспериментальных установок с сферическим и цилиндрическим пьезометрами.

1 - пьезометр; 2 - мембранный блок; 3 - термостат; 4 - заправочный баллончик;  
5 - "горячий" вентиль; 6 - разделительный сосуд; 7 - грузопоршневой манометр;  
8 - вакуумный насос.

жащими азот. В первой установке применен сферический безбалластный пьезометр, во второй - цилиндрический пьезометр с вынесенным в зону комнатных температур дифманометром, имеющий весьма небольшой (0,1% от объема пьезометра) балластный объем.

Термостатирование пьезометров осуществлялось в жидкостных термостатах, при этом необходимая температура опыта поддерживалась при помощи автоматического терморегулятора позиционного типа, собранного на базе серийных приборов и позволяющая поддерживать температуру на заданном уровне с отклонением не более  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  К. Для измерения температуры опыта использован образцовый платиновый термометр сопротивления типа ПТС-10 в комплекте с потенциометром постоянного тока типа Р-348 класса 0,002.

В обеих установках нуль-индикатором служил мембранный дифманометр, состоящий из двух фланцев и расположенной между ними мембраны из нержавеющей стали толщиной 0,1 мм. Фиксация положения мембраны осуществлялась с помощью электрического контакта "плавающего" типа, при этом чувствительность мембранного блока по давлению составляла  $\sim 10$  Па.

Для измерения давления применялись грузопоршневые манометры типа МП-6, МП-60 и МП-600 класса 0,05. Система "противодавления" (под мембраной) заполнялась толуолом. Разделение толуола и масла гидропресса осуществлялось с помощью тонкостенного полиэтиленового стакана, жесткостью которого можно пренебречь. Давление в опытах определялось с учетом влияния гидростатического давления столбов толуола и масла в соединительных линиях и барометрического давления.

Калибровка объемов пьезометров осуществлялась в опытах по дважды дистиллированной воде, а контрольные опыты - по азоту и фреону R 14, при этом сопоставление с наиболее достоверными литературными данными свидетельствует о надежности экспериментальных установок и методик измерений.

Заполнение пьезометра азотно-фреоновыми и азотно-углеродными смесями производилось следующим образом. Необходимое количество высококипящего компонента из мерного баллончика переконденсировалось в пьезометр и кристаллизовалось в нем. Затем в пьезометр подавался газообразный азот, количество которого определялось по конечному давлению в пьезометре. Проверка состава смеси производилась после окончания эксперимента на каждой изохоре с помощью хроматографа. Смеси фреонов R 13- R 14 составлялись весовым способом.

Информация об измерениях сжимаемости смесей  $N_2 - R13$ ,  $N_2 - R14$ ,  $R13 - R14$ ,  $N_2 - C_3H_6$  и  $N_2 - R13 - R14$  представлена в табл. I. Опытные данные для смеси  $N_2 - R13$  приведены в табл. 2, результаты остальных измерений даны в диссертации.

Поскольку для исследованных нами систем отсутствуют данные о парожидкостном равновесии, при проведении эксперимента часть опытных точек была получена для двухфазной области. Это позволило графоаналитической обработкой полученных результатов обнаружить на квазиизохорах характерные "изломы" (рис. 2), координаты которых, очевидно, и являются координатами кривой упругости. Правомочность нахождения точек фазового перехода путем экстраполяции изохор, полученных в однофазной и в двухфазной областях, подтверждена специальными опытами, в которых коэффициент сжимаемости определялся с мелким "шагом" по температуре в области предполагаемого начала фазового перехода газ-жидкость.

Расчет и анализ погрешности измерений удельных объемов смесей показал, что суммарная относительная ошибка опытных данных составляет 0,14...0,21%.

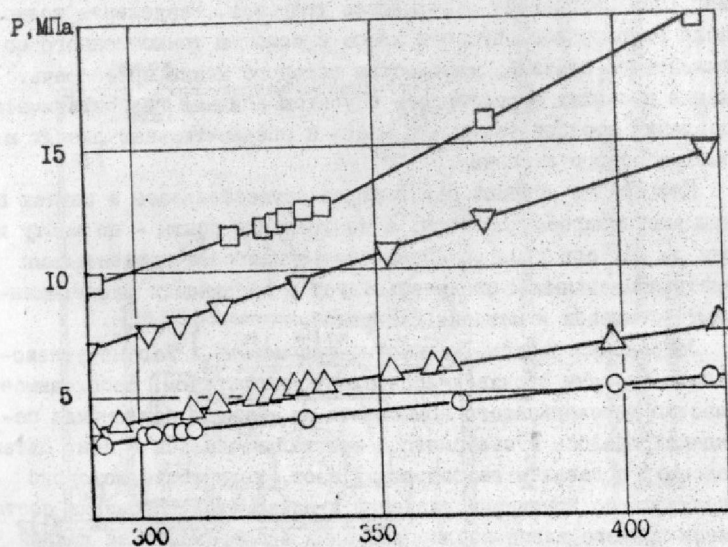


Рис. 2. Квазиизохоры смеси  $N_2 - C_3H_6$  при  $x = 0,5$ .

Таблица I.

Информация об экспериментальных исследованиях сжимаемости смесей

№ п/п	Смесь	Кол-во составов	Диапазон параметров		Кол-во опытных точек	Тип пьезометра <sup>*)</sup>
			T, К	P, МПа		
1.	$N_2 - R13$	3	213-400	I - 22	96	ц
2.	$N_2 - R14$	3	230-410	0,4-18	102	ц
3.	$R13 - R14$	4	293-423	I - 24	187	ш
4.	$N_2 - C_3H_6$	7	290-435	2-22,5	244	ц
5.	$N_2 - R13 - R14$	1	230-400	I - 15	28	ц

\*) условные обозначения: ц - цилиндрический пьезометр; ш - шаровый пьезометр.

Таблица 2.

Экспериментальные значения удельных объемов смеси  $N_2 - R13$

T, К	P, МПа	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	T, К	P, МПа	$v$ , м <sup>3</sup> /кг
		$x = 0,2914$	366,530	4,167	0,0075896
387,207	5,999	0,0057307	348,031	3,857	0,0075827
371,298	5,650	0,0057307	319,574	3,386	0,0075717
351,549	5,204	0,0057241	279,009	2,573	0,0075563
333,319	4,738	0,0057176		$x = 0,2675$	
310,815	4,220	0,0057110	400,263	3,697	0,0095420
289,073	3,585	0,0057078	371,146	3,344	0,0095293
268,308	2,926	0,0057013	350,014	3,087	0,0095193
246,508	1,998	0,0056948	334,823	2,902	0,0095120
		$x = 0,2434$	288,806	2,321	0,0094895
387,947	12,255	0,0022523	244,505	1,390	0,0094688
369,810	11,947	0,0022502		$x = 0,2531$	
352,524	10,635	0,0022482	335,038	15,548	0,0014345
333,037	9,190	0,0022457	306,912	11,243	0,0014325
310,970	7,505	0,0022432	268,395	6,644	0,0014298
287,990	5,813	0,0022406	245,227	4,508	0,0014280
266,074	4,200	0,0022381		$x = 0,5101$	
		$x = 0,2605$	391,334	4,801	0,0097333
390,724	4,564	0,0075988			

Продолжение таблицы 2.

T, K	P, МПа	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	T, K	P, МПа	$v, \text{м}^3/\text{кг}$
360,264	4,352	0,0097172	$\mathcal{X} = 0,4999$		
333,560	3,952	0,0097040	325,046	21,608	0,0016576
293,295	3,331	0,0096843	271,151	13,667	0,0016529
246,242	2,496	0,0096590	254,974	11,360	0,0016515
227,569	1,933	0,0096506	238,681	9,526	0,0016499
	$\mathcal{X} = 0,5022$		289,166	16,041	0,0016543
388,787	3,847	0,0120630	$\mathcal{X} = 0,7569$		
364,960	3,570	0,0120480	389,299	3,965	0,0170560
333,276	3,194	0,0120280	362,593	3,658	0,0170330
309,238	2,907	0,0120130	328,488	3,253	0,0170010
279,095	2,541	0,0119950	287,471	2,779	0,0169660
251,081	2,190	0,0119760	264,660	2,451	0,0169460
236,555	1,849	0,0119570	227,728	2,094	0,0169120
	$\mathcal{X} = 0,5134$		$\mathcal{X} = 0,7472$		
392,114	4,822	0,0097248	374,250	5,848	0,0106510
361,304	4,350	0,0097097	352,244	5,442	0,0106380
331,315	3,884	0,0096946	313,971	4,730	0,0106170
296,533	3,340	0,0096768	244,037	3,388	0,0105790
267,342	2,879	0,0096618	225,449	2,944	0,0105790
221,501	1,856	0,0096395	401,373	6,402	0,0106660
212,678	1,578	0,0096348	294,115	4,352	0,0106070
282,421	3,092	0,0096702	$\mathcal{X} = 0,7466$		
244,998	2,405	0,0096506	381,628	14,772	0,0042790
	$\mathcal{X} = 0,5121$		351,677	13,615	0,0042735
386,906	6,136	0,0074593	309,770	11,242	0,0042626
360,518	5,599	0,0074493	268,633	8,879	0,0042535
296,555	4,269	0,0074245	$\mathcal{X} = 0,7457$		
328,499	4,939	0,0074372	399,472	4,613	0,0144320
271,704	3,724	0,0074151	351,486	3,979	0,0143970
227,618	2,318	0,0073981	314,848	3,494	0,0143700
	$\mathcal{X} = 0,5088$		256,566	2,711	0,0143250
388,740	15,645	0,0030553	236,670	2,287	0,0143040
360,139	12,903	0,0030516	$\mathcal{X} = 0,7500$		
328,714	10,936	0,0030460	285,328	17,911	0,0024888
295,453	8,839	0,0030404	269,722	15,920	0,0024869
265,278	6,917	0,0030358	246,170	13,139	0,0024839
228,533	4,799	0,0030303	212,666	9,673	0,0024795

Обобщение данных о сжимаемости азота, фреонов R13 и R14 и пропилена

Решение одной из задач настоящей диссертации – разработки методики расчета термодинамических свойств азотно-фреоновых и азотно-углеводородных двух- и многокомпонентных смесей – предполагает знание термических свойств и наличие уравнений состояния индивидуальных веществ –  $N_2$ , R13, R14 и  $C_3H_8$ . Все эти вещества, в особенности азот, можно отнести к классу хорошо изученных веществ. Для них имеются также и уравнения состояния, охватывающие весьма широкую область параметров, однако, форма этих уравнений не позволяет применить полученные результаты для расчета свойств смесей.

В связи с этим, нами были проанализированы опубликованные данные о термических свойствах  $N_2$ , R13, R14 и  $C_3H_8$ , отобраны наиболее надежные результаты для исследуемого диапазона параметров ( $T = 200 - 450$  К,  $p = 0,1 - 25$  МПа) и на их основе составлены уравнения состояния, по форме пригодные для описания свойств смесей.

В качестве таких уравнений выбраны уравнения ББР и Старлинга. В диссертации анализируются возможности этих уравнений для представления свойств как индивидуальных веществ, так и смесей.

При составлении уравнений состояния такого типа на основе разнородной термодинамической информации имеется ряд проблем, которые относятся к обеспечению внутренней согласованности данных о термодинамических свойствах при их совместном использовании, выбору наиболее эффективных методов вычисления коэффициентов уравнения и т.д. В связи с этим, автором совместно с Барышевым В. разработана методика составления уравнения состояния, позволяющая включать в обработку всю доступную информацию о термодинамических свойствах с учетом выполнения критических условий, условия термодинамического равновесия фаз на границе жидкость – пар и т.д.

Полученные в результате использования этой методики коэффициенты уравнений ББР и Старлинга для  $N_2$ , R13, R14 и  $C_3H_8$  представлены в табл.3 и 4. О качестве полученных уравнений состояния свидетельствует тот факт, что среднеквадратические отклонения расчета от эксперимента, соответственно, составили для азота по плотности 0,60 и 0,56%; по энтальпии 1,38 и 1,45%; по летучести 0,72 и 0,83%.

Таблица 3.

Коэффициенты уравнения БВР

Коэффициенты	R 13	R 14	Азот	Пропилен
$A_0$	$0,458998 \cdot 10^{-1}$	$0,302420 \cdot 10^{-1}$	$0,214352 \cdot 10^{-1}$	$0,307802 \cdot 10^{-1}$
$B_0$	$0,750900 \cdot 10^{-1}$	$0,739400 \cdot 10^{-1}$	$0,424712 \cdot 10^{-1}$	$0,567612 \cdot 10^{-1}$
$C_0$	$0,262473 \cdot 10^6$	$0,860458 \cdot 10^5$	$0,125500 \cdot 10^5$	$0,471308 \cdot 10^4$
$a$	$0,618519 \cdot 10^6$	$0,271842 \cdot 10^6$	$0,317829 \cdot 10^6$	$0,118944 \cdot 10^6$
$\beta$	$0,018837 \cdot 10^6$	$0,010727 \cdot 10^6$	$0,157332 \cdot 10^6$	$0,176120 \cdot 10^6$
$c$	$0,545638 \cdot 10^4$	$0,144658 \cdot 10^5$	$0,246571 \cdot 10^4$	$0,173345 \cdot 10^3$
$\alpha$	$0,414784 \cdot 10^{-3}$	$0,255975 \cdot 10^{-3}$	$0,218819 \cdot 10^{-2}$	$0,612013 \cdot 10^{-1}$
$\gamma$	$0,175128 \cdot 10^{-1}$	$0,118868 \cdot 10^{-1}$	$0,977005 \cdot 10^{-1}$	$0,219986 \cdot 10^0$

Таблица 4.

Коэффициенты уравнения Старлинга

Коэффициенты	R 13	R 14	Азот	Пропилен
$B_0$	$0,844094 \cdot 10^{-1}$	$0,655837 \cdot 10^{-1}$	$0,424880 \cdot 10^{-1}$	$0,841970 \cdot 10^{-1}$
$A_0$	$0,498571 \cdot 10^3$	$0,295260 \cdot 10^3$	$0,124729 \cdot 10^3$	$0,635418 \cdot 10^3$
$C_0$	$0,290491 \cdot 10^8$	$0,941097 \cdot 10^7$	$0,660663 \cdot 10^6$	$0,452546 \cdot 10^8$
$D_0$	$0,837951 \cdot 10^9$	$0,203907 \cdot 10^9$	$0,742167 \cdot 10^7$	$0,155491 \cdot 10^{10}$
$E_0$	$0,165360 \cdot 10^{11}$	$0,314358 \cdot 10^{10}$	$0,146080 \cdot 10^9$	$0,450281 \cdot 10^{11}$
$\beta$	$0,195742 \cdot 10^{-1}$	$0,118050 \cdot 10^{-1}$	$0,487055 \cdot 10^{-2}$	$0,193810 \cdot 10^{-1}$
$a$	$0,522068 \cdot 10^2$	$0,235563 \cdot 10^2$	$0,484730 \cdot 10^1$	$0,604555 \cdot 10^2$
$d$	$0,413609 \cdot 10^4$	$0,138070 \cdot 10^4$	$0,106816 \cdot 10^3$	$0,527796 \cdot 10^4$
$\alpha$	$0,363398 \cdot 10^{-3}$	$0,173214 \cdot 10^{-3}$	$0,589377 \cdot 10^{-4}$	$0,389029 \cdot 10^{-3}$
$c$	$0,577258 \cdot 10^7$	$0,146888 \cdot 10^7$	$0,829235 \cdot 10^5$	$0,947738 \cdot 10^7$
$\gamma$	$0,160159 \cdot 10^{-1}$	$0,975048 \cdot 10^{-2}$	$0,482232 \cdot 10^{-2}$	$0,168234 \cdot 10^{-1}$

## Расчет термодинамических свойств смесей

При составлении уравнений БВР для азотно-фреоновых и азотно-углеводородных смесей константы  $A_0$ ,  $C_0$ ,  $\alpha$ ,  $c$  и  $\gamma$  определялись без каких-либо ограничений по известным комбинационным соотношениям, а константы  $B_0$ ,  $\beta$  и  $a$  - из соотношений о выполнении критических условий. Критические параметры смесей определялись по правилу Праусница-Ганна.

Сопоставление с результатами опытов показало, что расчетная по БВР термодинамическая поверхность несколько "смещена" относительно экспериментальной. Для улучшения качества описания константа  $A_0$  рассчитана по Бишнок-Рабинсону  $A_{0ij} = \theta_{ij} (A_{0i} \cdot A_{0j})^{1/2}$ . Значение  $\theta_{ij} = 0,938$  найдено машинной минимизацией отклонений расчета от эксперимента.

Среднеквадратическая погрешность описания всего массива опытных данных о сжимаемости смесей составила 0,95%.

Уравнения Старлинга для смесей составлялись с использованием оригинальных комбинационных соотношений, при этом сравнение расчета с экспериментом для систем  $N_2 - R 13$ ,  $N_2 - R 14$ ,  $N_2 - C_3H_8$ ,  $R 13 - R 14$  и  $N_2 - R 13 - R 14$  показало, что максимальные отклонения по сжимаемости составляют, соответственно, 2,1; 1,5; 1,9; 0,9 и 2,2%, среднеквадратические - 0,62; 0,68; 0,75; 0,54 и 0,83%. Сопоставление данных о фазовом равновесии жидкость-пар, найденных экспериментально по излому изохор, с расчетом по уравнению Старлинга показало, что отклонения (по давлению) не превышают 0,5%.

По уравнению Старлинга были рассчитаны приведенные в диссертации таблицы термодинамических свойств бинарных смесей  $N_2 - R 13$ ,  $N_2 - R 14$ ,  $N_2 - C_3H_8$  и  $R 13 - R 14$ , а также тройной смеси  $N_2 - R 13 - R 14$ . Таблицы включают плотность, энтальпию, энтропию, изобарную и изохорную теплоемкости и охватывают диапазон температур 230...450 К и давлений 0,1...20 МПа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. Созданы экспериментальные установки для исследования сжимаемости газовых смесей в диапазоне температур 240...425 К и давлений до 25 МПа, реализующие метод пьезометра постоянного объема.

2. Впервые получены экспериментальные данные о термических свойствах бинарных систем азот-фреон R13, азот-фреон R14, азот-пропилен, фреон R13-фреон R14 при различных концентрациях компонентов и тройной смеси азот-фреон R13-фреон R14 в диапазоне температур 240...425 К и давлений до 25 МПа.

3. При экспериментальном исследовании сжимаемости получены изломы на изохорах, соответствующие точкам фазового перехода жидкость - пар. Обработка опытных данных показала, что эти точки воспроизводятся расчетным путем с отклонением по давлению не более 0,5%.

4. Разработана методика составления уравнения состояния, позволяющая при обработке опытных данных учитывать выполнение критических условий, условий термодинамического равновесия на границах двухфазной области и т.д. На основе этой методики составлены уравнения состояния для азота, фреонов R13, R14 и пропилена, описывающие их термодинамические свойства в интервале температур 200...450 К и давлениях до 25 МПа.

5. Показана возможность расчета термодинамических свойств сложных хладагентов, представляющих собой двух- и многокомпонентные азотно-фреоновые и азотно-углеводородные смеси на основе уравнений БВР и Старлинга во всем практически необходимом диапазоне параметров.

6. Впервые составлены таблицы термодинамических свойств смесей азот-фреон R13, азот-фреон R14, фреон R13-фреон R14, азот-пропилен, азот-фреон R13-фреон R14 в диапазоне температур 230...450 К и давлений до 20 МПа, включающие плотность, энтальпию, энтропию и изобарную и изохорную теплоемкости.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Исследование теплофизических свойств некоторых рабочих тел криогенных установок. /Чайковский В.Ф., Геллер В.З., Горыкин С.Ф., Поричанский Е.Г., Барышев В.П., Бондарь Г.Е., Запорожан Г.В., Ленский Л.Р., Пугач А.К., Элькин Ю.Г., Шевченко Г.З. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. совещания "Перспективы развития и применения микрокриогенной техники". Омск, 1977, с.
2. Горыкин С.Ф., Шевченко Г.З. Исследование сжимаемости смесей на основе азота, фреона - R13 и фреона - R14. - В кн.: Тез.

докл. Всесоюз. научн. конф. "Совершенствование процессов машин и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха". Ташкент, 1977, с.75-76.

3. Экспериментальное исследование сжимаемости бинарных смесей фреона-R13 с фреоном-R14 и азотом. /В.Ф.Чайковский, В.З.Геллер, С.Ф.Горыкин, Г.З.Шевченко - Изв. вузов. Энергетика, 1980, № 12, с.98-101.
4. Шевченко Г.З. Плотность и уравнение состояния фреонов-R13, R14 и смесей на их основе. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания". Харьков, 1981, с.261.
5. Комплексное исследование теплофизических свойств новых хладагентов. /В.З.Геллер, Г.В.Запорожан, С.Гайда, С.В.Ильченко, Д.А.Михно, Г.З.Шевченко - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. по холодильному машиностроению. М., ЦНИТИХИМНефтемаш, 1982, с.12.
6. Геллер В.З., Шевченко Г.З. Термодинамические свойства двух- и многокомпонентных азотно-фреоновых и азотно-углеводородных смесей. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. по теплофизическим свойствам веществ. Ташкент, 1982, с.40-41.

*Шевченко*  
 ✓ О. 14535

Одесский технологический  
 институт пищевой промышленности им. В. Ломоносова  
 БИБЛИОТЕКА