

УДК 532.61

Поверхностное натяжение растворов R134a / Castrol Icematic SW 22

Д.А. ПРОЦЕНКО, С.Н. АНЧЕРБАК, В.П. ЖЕЛЕЗНЫЙ

Одесская государственная академия холода

The experimental investigation and calculations of the capillary constant and surface tension of the oil Castrol Icematic SW 22 of the solutions R134a / Castrol Icematic SW 22 were carried out. The measurements were performed by differential method of capillary rise in the temperature range $290 \leq T \leq 330$ K in the interval of the oil mass concentration $0 < x_0 < 0,22$. The obtained data are approximated by power dependencies with universal crossover functions at indices of power. The concentration relationship of the equations coefficients was investigated. The tables of reference data on the capillary constant and surface tension of solutions R134a / Castrol Icematic SW 22 in the range of operational parameters of vapor-compression refrigerating machines are calculated. The data obtained are interesting for specialists studying the processes of heat exchange in the evaporator of the refrigerating machine.

Реальное рабочее тело (РРТ) в парокомпрессионных холодильных установках представляет собой смесь, состоящую из хладагента и масла.

Наличие примесей масла в рабочем теле приводит к снижению холодопроизводительности, увеличению работы сжатия в компрессоре, уменьшению холодильного коэффициента [6, 7, 12, 13], снижению коэффициента теплопередачи в испарителе [19, 20]. Поэтому исследование теплофизических свойств жидкой фазы РРТ при различных концентрациях компонентов имеет принципиальное значение.

Информация о поверхностном натяжении растворов озононеразрушающих хладагентов с новыми синтетическими компрессорными маслами в литературе практически отсутствует [9]. Однако именно поверхностное натяжение раствора хладагент/масло в значительной мере определяет износ сопрягаемых подвижных деталей компрессора. До сих пор остаются неизученными также вопросы влияния поверхностного натяжения на интенсивность процессов испарения РРТ в испарителе и т.д.

На основании информации о чистых компонентах невозможно получить достоверную информацию о поверхностном натяжении растворов хладагент/масло (РХМ), тем более что используемые в практике масла являются жидкими многокомпонентными растворами с неопределенными структурой и молекулярной массой.

Вывод о термодинамическом подобии РХМ в широком интервале концентрации масла [10, 18] позволяет приступить к разработке методов прогнозирования их

теплофизических свойств. Однако построение любых прогностических моделей, претендующих на достоверность, возможно только при наличии корректно полученных экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования

Поверхностное натяжение растворов R134a / Castrol Icematic SW 22 определялось дифференциальным методом капиллярного поднятия. Это единственный из существующих способов измерения, который позволит получить информацию о поверхностном натяжении в условиях термодинамического равновесия в широком интервале параметров состояния [1].

Эксперименты проводились на установке, представленной на рис. 1. В измерительной ячейке 3, представляющей собой толстостенную стеклянную ампулу, установлены три калиброванных капилляра различных размеров: $R_1 = 0,16$ мм; $R_2 = 0,36$ мм; $R_3 = 0,5$ мм. Визуальное наблюдение за положением уровней менисков жидкости в капиллярах производилось посредством катетометра КМ-8 (15) с погрешностью 0,015 мм. Герметичность измерительной ячейки обеспечивалась запорным вентилем V3, который через коваровый штуцер крепился к стеклянной ампуле.

Термостатирование измерительной ячейки проводилось в стеклянном сосуде Дьюра 7, заполненном уайт-спиритом. Однородность температурного поля по всему объему термостатирующей жидкости обеспечивалась мешалкой 6. Для создания определенной температуры в термостате и ее регулирования предусмотрены разгонный и регулируемый нагреватели. Последний под-

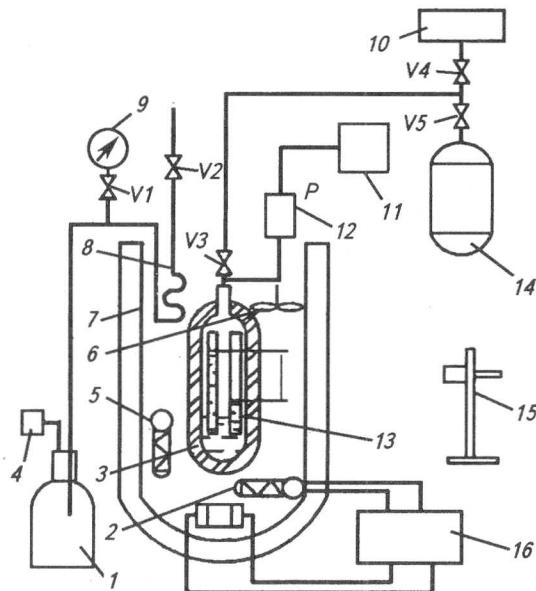


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования поверхностного натяжения смеси R134a / Castrol Icematic SW 22:
1 – сосуд Дьюара с жидким азотом; 2 – датчик системы регулирования температуры; 3 – стеклянная ампула с коваровым штуцером; 4 – регулятор давления в сосуде Дьюара; 5 – термометр сопротивления; 6 – мешалка; 7 – стеклянный сосуд Дьюара; 8 – теплообменник; 9 – манометр; 10 – вакуумная система; 11 – милливольтметр; 12 – преобразователь давления; 13 – измерительные капилляры; 14 – баллон с хладагентом; 15 – катетометр; 16 – система регулирования температуры

ключен к системе регулирования температуры 16, включающей высокоточный регулятор температуры ВРТ-3, мост МО-62 и технический платиновый термометр сопротивления 2. Температура в опытах измерялась платиновым термометром сопротивления 5. Термостат был оснащен теплообменником 8, через который при проведении измерений на низких температурах прокачивался жидкий азот из сосуда Дьюара 1. Постоянный расход азота через теплообменник 8 обеспечивался сильфонным регулятором давления 4 и вентилем тонкой регулировки V2. Для вакуумирования измерительной ячейки 3 и очистки исследуемого образца от неконденсирующихся газов применяли вакуумную систему 10. Давление в измерительной ячейке определяли по показаниям преобразователя давления 12 и милливольтметра 11. До эксперимента и по его окончании производилась индивидуальная тарировка преобразователя давления с использованием справочных данных по давлению насыщенных паров хладагента R134a [14]. Проведенные исследования показывают, что абсолютная погрешность измерения давления в проведенных экспериментах не превышала 0,0016 МПа.

Перед проведением опытов масло Castrol Icematic

SW 22 подвергалось деаэрации с целью очистки от неконденсирующихся примесей. Перед заправкой хладагентом измерительная ячейка вакуумировалась.

В процессе экспериментального исследования проводили измерения температуры и давления и определяли капиллярную постоянную $a_{i,j}^2$:

$$a_{i,j}^2 = \Delta H_{i,j} / (1/b_i - 1/b_j); \quad (1)$$

$$\bar{a}^2 = \frac{\sum a_{i,j}^2 p_{i,j}}{\sum p_{i,j}}, \quad (2)$$

где $\Delta H_{i,j}$ – разность высот поднятия менисков жидкости в капиллярах;

b_i, b_j – радиусы кривизны менисков жидкости измерительных капилляров;

$P_{i,j}$ – статистический вес отдельного измерения на каждой паре капилляров.

В качестве критерия при определении статистического веса брали величину $1/\delta_{i,j}$, обратную максимально возможной относительной ошибке в определении капиллярной постоянной.

Такая методика определения капиллярной постоянной позволяет существенно уменьшить влияние случайных погрешностей при измерениях небольших значений высоты поднятия жидкости в капиллярах.

Значения $1/b_i - 1/b_j$ для различных пар измерительных капилляров были получены по результатам тарировочного эксперимента. В качестве эталонной жидкости для тарировки использовали хладагент R134a, данные о поверхностном натяжении которого приведены в [5]. Проведенный анализ показывает, что неучтенные остатки относительной систематической погрешности определения капиллярной постоянной смеси в проведенных экспериментах не превышают 2,5 – 3 %.

Определение массы заправочного баллончика и компонентов РХМ осуществляли на аналитических весах АДВ-200М с погрешностью, не превышающей $5 \cdot 10^{-7}$ кг. Концентрацию масла в жидкой фазе раствора рассчитывали по формуле

$$x_o = \frac{m_o}{m_r + m_o - m_{v,r}}, \quad (3)$$

где m_o – масса заправленного в ячейку масла;

m_r – масса заправленного в ячейку хладагента;

$m_{v,r}$ – масса паровой фазы хладагента в измерительной ячейке.

Относительную погрешность определения концентрации авторы оценивают в 0,5 %. Погрешность измерения температуры не превышала 0,05 К.

Результаты экспериментального исследования

В настоящее время уже накоплен большой опыт в проведении экспериментальных исследований теплофизических свойств РХМ. Достаточно полный перечень таких исследований приведен в [8, 15]. Измерения свойств РХМ проводили, как правило, в рамках традиционных методик, прошедших хорошую апробацию при изучении свойств чистых веществ или растворов достаточно сходных компонентов. Вместе с тем такие факторы, как влияние перемешивания жидкого раствора на давление насыщенных паров и концентрацию жидкой фазы РХМ, время протекания сорбционных процессов при установлении равновесия в измерительной ячей-

ке [16] и т.п., остаются во многом неизученными, что в значительной мере определяет недостаточно высокое качество эмпирической информации, которая в дальнейшем используется для построения термодинамических моделей. Это сдерживает прогресс в развитии методов термодинамического моделирования свойств РХМ.

Поэтому перед измерением капиллярной постоянной РХМ было проведено специальное экспериментальное исследование по определению времени установления термодинамического равновесия в измерительной ячейке и в расположенных в ней капиллярах. Его результаты, приведенные на рис. 2 и 3, позволяют прийти к заключению, что время установления термодинамического равновесия при исследованиях свойств РХМ велико и зависит от состава и термодинамических параметров объекта исследования. Так, время установления равновесного давления насыщенных паров с увеличением концентрации масла в РХМ увеличивается. Достижение равновесных давления и температуры в измерительной ячейке (которое фиксируется по показаниям термометра и преобразователя давлений) еще не является гарантией получения достоверных результатов при измерении капиллярной постоянной, так как время установления равновесия в измерительных капиллярах (прежде всего устранение градиента концентраций по высоте) значительно превышает время установления равновесного давления насыщенных паров. Изменения в значениях капиллярной постоянной наблюдались только через 5...6 ч после вывода установки на заданный температурный режим. Причем чем меньше диаметр измерительных капилляров, тем большее время необходимо для установления равновесия (см. рис. 3).

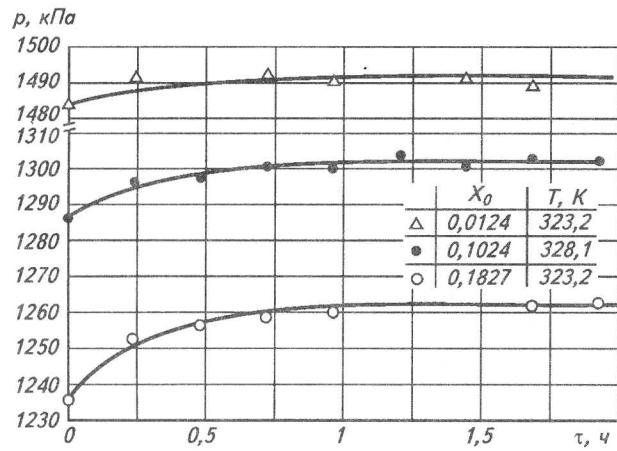


Рис. 2. Время установления термодинамического равновесия в измерительной ячейке для смеси R134a / Castrol Iematic SW 22

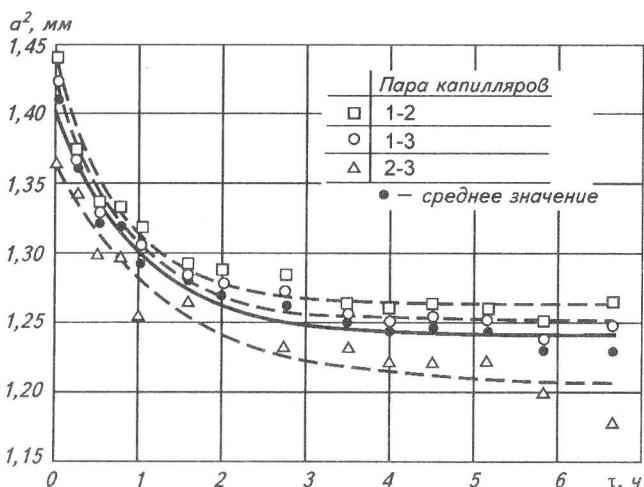


Рис. 3. Время установления термодинамического равновесия в измерительных капиллярах для смеси R134a / Castrol Iematic SW 22 (массовая концентрация масла $x_0 \approx 0,1827$, $T=323,2$ K)

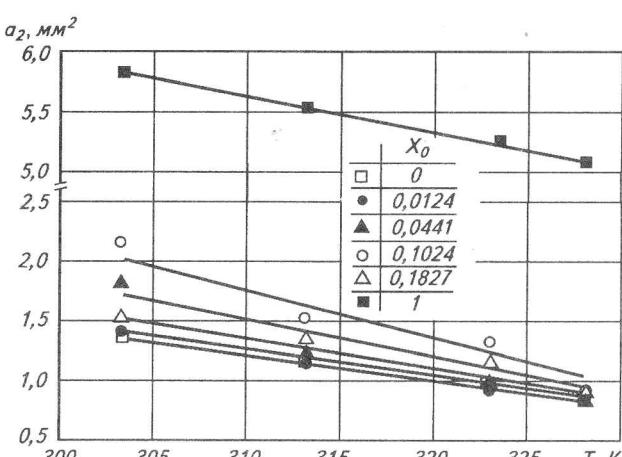


Рис. 4. Температурная зависимость капиллярной постоянной R134a / Castrol Iematic SW 22

Таблица 1. Экспериментальные значения капиллярной постоянной

Температура Т, К	Давление р, кПа	Массовая концентрация масла	Концентрация масла (расчет с использованием данных по фазовым равновесиям)	Капиллярная постоянная a^2 , мм ²
303,30	773,38 [11]	0,00000	0,00000	1,340
303,30	768,38	0,01236	0,01413	1,405
303,30	760,04	0,10236	0,11458	1,529
303,30	740,69	0,18267	0,20791	1,522
303,30	–	1,00000	1,00000	5,821
313,10	1015,04 [11]	0,00000	0,00000	1,169
313,20	1017,77 [11]	0,00000	0,00000	1,167
313,20	1012,77	0,01236	0,01484	1,158
313,20	1005,43	0,04408	0,05173	1,233
313,20	999,43	0,10236	0,11957	1,317
313,15	979,75	0,18267	0,21860	1,326
313,15	–	1,00000	1,00000	5,543
323,05	1315,96 [11]	0,00000	0,00000	0,994
323,15	1319,28 [11]	0,00000	0,00000	0,992
323,10	1314,28	0,01236	0,01591	0,942
323,15	1300,61	0,04408	0,05477	1,001
323,10	1266,25	0,18267	0,23354	1,144
323,45	–	1,00000	1,00000	5,279
328,15	1489,34 [11]	0,00000	0,00000	0,903
328,10	1484,34	0,01236	0,01659	0,851
328,05	1466,66	0,04408	0,05667	0,841
328,10	1463,66	0,04408	0,05669	0,843
328,10	1455,32	0,10236	0,13075	0,942
328,10	1423,29	0,18267	0,24319	1,026
328,15	–	1,00000	1,00000	5,103

Таким образом, основными факторами, определяющими время установления термодинамического равновесия в измерительной ячейке в целом и измерительных капиллярах в частности, являются диффузионные процессы (как внутри жидкой фазы РХМ, так и меж-

фазные процессы диффузии). Именно эти медленно протекающие процессы определяют значительный вес случайной составляющей погрешности в полной погрешности определения капиллярной составляющей. Уменьшать время установления термодинамического равновесия путем перемешивания жидкой фазы РХМ нельзя, поскольку само перемешивание является фактором нарушения равновесия газонасыщенного раствора РХМ [3, 17, 18].

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 1. Температурная зависимость капиллярной постоянной для РХМ различной концентрации показана на рис. 4.

В процессе исследования капиллярной постоянной РХМ было зафиксировано существенное изменение концентрации жидкой фазы при изохорном нагревании исследуемого образца в измерительной ячейке (см. табл. 1). Тем самым получило подтверждение ранее высказанное положение о необходимости учета изменения концентрации при обработке экспериментальных данных о свойствах РХМ на линии насыщения [3, 17, 18]. Концентрацию жидкой фазы РХМ определяли с использованием ранее полученной информации о давлении насыщенных паров R134a / Castrol Icematic SW 22 [3].

Расчет поверхностного натяжения проводили по формуле

$$\sigma_{mix} = \frac{(\rho_{l,mix} - \rho_{v,r})}{2} \bar{a}^2 g, \quad (4)$$

где $\rho_{l,mix}$, $\rho_{v,r}$ – плотности жидкой фазы смеси R134a / Castrol Icematic SW 22 и паровой фазы при давлении насыщенных паров РХМ;

g – ускорение силы тяжести (на широте Одессы 9,8073 м/с²).

Плотность жидкой фазы РХМ рассчитывали по формуле, рекомендуемой в работе [11]:

$$\rho_{l,mix} = \frac{\rho_o}{1 + (1 - x_o) \left(\frac{\rho_o}{\rho_r} - 1 \right)}, \quad (5)$$

где $\rho_{l,mix}$, ρ_o , ρ_r – плотность смеси, масла и хладагента соответственно.

Для расчета были использованы данные по плотности чистого хладагента на линии насыщения [14] и экспериментальные данные для плотности компрессорного масла, приведенные в [4]. Полученные результаты корректировались с учетом величин избыточной плотности, приведенных в работе [2].

Полученные значения поверхностного натяжения

PXM на изотермах были аппроксимированы полиномами второй степени

$$\sigma_{mix} = A + Bx_o + Cx_o^2. \quad (6)$$

Коэффициенты аппроксимационного уравнения (6) приведены в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты аппроксимационного уравнения (6) на различных изотермах

T, K	A	B	C
303,30	7,56193	2,30558	16,93951
313,20	6,29332	1,37992	17,30338
323,15	5,04368	-0,19320	18,30988
328,15	4,43956	-1,55046	19,19652

Результаты расчета

На основании полученных экспериментальных данных и с использованием методик прогнозирования свойств PXM, предложенных в [3], были рассчитаны значения поверхностного натяжения смеси R134a / Castrol Icematic SW 22 в диапазоне приведенных тем-

ператур $0,01 \leq t = 1 - \frac{T}{T_c} \leq 0,60$ (где \bar{T}_c – псевдо-

критическая температура PXM) и массовых концентраций масла в растворе $0 \leq x_o \leq 0,22$ и 1,0. В рамках предлагаемой методики поверхностное натяжение PXM при постоянной концентрации компонентов было аппроксимировано зависимостью вида

$$\sigma_{mix} = \sigma_0 t^{\mu F(t)}, \quad (7)$$

где μ – универсальный для различных концентраций PXM показатель степени. Без значительного ущерба для точности расчета поверхностного натяжения PXM его величина может быть принята равной теоретическому значению $\mu = 1,2586$ [3]);

$F(t)$ – универсальная для хладагентов и PXM кроссоверная функция, значение которой может быть рассчитано по уравнению

$$F(t) = 1 - 0,03534[t^{1.5}/\ln(t)] - 0,316563[t^2/\ln(t)] + 0,342461[t^3/\ln(t)]. \quad (8)$$

Значения псевдокритических температур PXM \bar{T}_c в интервале концентраций масла $0 \leq x_o \leq 0,22$ были рассчитаны по методике, предложенной в работе [18]. Концентрационная зависимость для \bar{T}_c в указанном интервале концентраций может быть представлена в виде

$$\bar{T}_c = 363,992 + \frac{449,008}{(1 + 2010,04x_{l,r})^{0.5}}, \quad (9)$$

где $x_{l,r}$ – концентрация хладагента в жидкой фазе PXM.

Таблица 3. Значения амплитуды σ_0

Темпера-тура T, K	Концентра-ция масла	Амплитуда σ_0 (эксперимент)	Амплитуда σ_0 (расчет)	Отклоне-ние, %
303,3	0,0000	62,413	62,610	0,32
303,3	0,0141	65,183	62,633	-4,07
303,3	0,1146	69,071	64,235	-7,53
303,3	0,2079	67,079	69,283	3,18
303,3	1,0000	54,209	54,209	0
313,1	0,0000	62,611	62,610	0,00
313,2	0,0000	62,485	62,610	0,20
313,2	0,0148	61,704	62,633	1,48
313,2	0,0517	65,081	62,898	-3,47
313,2	0,1196	68,378	64,235	-6,45
313,15	0,2186	67,258	69,283	-2,92
313,15	1,0000	54,209	54,209	0
323,05	0,0000	62,851	62,610	-0,38
323,15	0,0000	62,699	62,610	-0,14
323,1	0,0159	59,249	62,633	5,40
323,15	0,0548	62,425	62,898	0,75
323,1	0,2335	68,678	69,283	0,87
323,45	1,0000	54,209	54,209	0
328,15	0,0000	62,681	62,610	-0,11
328,1	0,0166	58,944	62,633	5,89
328,05	0,0567	57,784	62,898	8,13
328,1	0,0567	57,851	62,898	8,02
328,1	0,1307	63,683	64,235	0,86
328,1	0,2432	67,842	69,283	2,08
328,15	1,0000	54,209	54,209	0

Значение псевдокритической температуры \bar{T}_c для чистого масла ($x_o = 1$) определяли из данных по плотности масла [4] по методике, предложенной в работе [18]. Полученное в рамках указанной методики значение псевдокритической температуры равно $\bar{T}_c = 714$ К.

Полученные экспериментальные значения поверхностного натяжения PXM позволили рассчитать значения амплитуды σ_0 при различных концентрациях масла в смеси R134a / Castrol Icematic SW 22 (табл. 3). Концен-

Таблица 4. Поверхностное натяжение растворов R134a / Castrol Icematic SW 22

Температура T, К	Поверхностное натяжение растворов R134a / Castrol Icematic SW 22 $\sigma_{\text{пов}}, \text{мН/м}$						
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	1,00
200	22,577	*	*	*	*	*	33,335
205	21,804	*	*	*	*	*	32,920
210	21,035	*	*	*	*	*	32,507
215	20,271	*	*	*	*	*	32,097
220	19,511	19,650	*	*	*	*	31,689
225	18,755	18,890	*	*	*	*	31,284
230	18,004	18,135	*	*	*	*	30,882
235	17,257	17,384	17,735	*	*	*	30,482
240	16,515	16,637	16,975	17,608	19,557	18,969	30,085
245	15,777	15,895	16,220	16,826	18,691	18,131	29,690
250	15,043	15,158	15,469	16,049	17,830	17,299	29,297
255	14,314	14,425	14,723	15,277	16,975	16,471	28,906
260	13,591	13,697	13,982	14,510	16,125	15,649	28,518
265	12,872	12,975	13,246	13,748	15,282	14,833	28,131
270	12,159	12,258	12,516	12,993	14,444	14,023	27,746
275	11,452	11,547	11,792	12,243	13,614	13,220	27,364
280	10,751	10,842	11,074	11,500	12,790	12,424	26,983
285	10,056	10,143	10,363	10,764	11,975	11,634	26,604
290	9,369	9,452	9,659	10,036	11,167	10,853	26,227
295	8,689	8,768	8,963	9,315	10,369	10,080	25,851
300	8,018	8,093	8,275	8,603	9,579	9,316	25,477
305	7,355	7,427	7,596	7,900	8,800	8,563	25,105
310	6,702	6,770	6,927	7,208	8,033	7,820	24,735
315	6,060	6,124	6,269	6,526	7,277	7,088	24,366
320	5,429	5,490	5,623	5,857	6,535	6,370	23,998
325	4,812	4,868	4,989	5,201	5,807	5,665	23,632
330	4,208	4,260	4,370	4,559	5,096	4,976	23,267
335	3,620	3,668	3,767	3,934	4,402	4,304	22,904
340	3,049	3,094	3,181	3,327	3,729	3,652	22,541
345	2,499	2,540	2,616	2,741	3,078	3,021	22,181
350	1,971	2,008	2,073	2,178	2,453	2,414	21,821
355	1,470	1,503	1,558	1,643	1,858	1,837	21,463
360	1,002	1,030	1,075	1,141	1,299	1,294	21,106
365	0,575	0,599	0,633	0,681	0,786	0,795	20,750
370	0,207	0,226	0,249	0,279	0,336	0,354	20,395

* Область ниже параметров кривой расслоения [4].

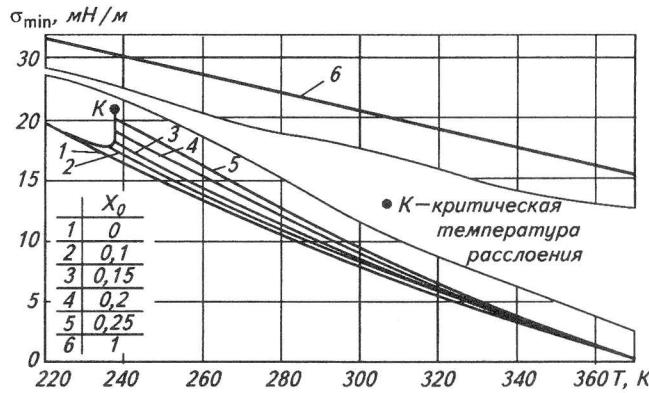


Рис. 5. Температурная зависимость поверхностного натяжения раствора R134a / Castrol Icematic SW 22: K – критическая температура расслоения; 1 – $x_o \approx 0$; 2 – $x_o \approx 0,1$; 3 – $x_o \approx 0,15$; 4 – $x_o \approx 0,2$; 5 – $x_o \approx 0,25$; 6 – $x_o \approx 1$

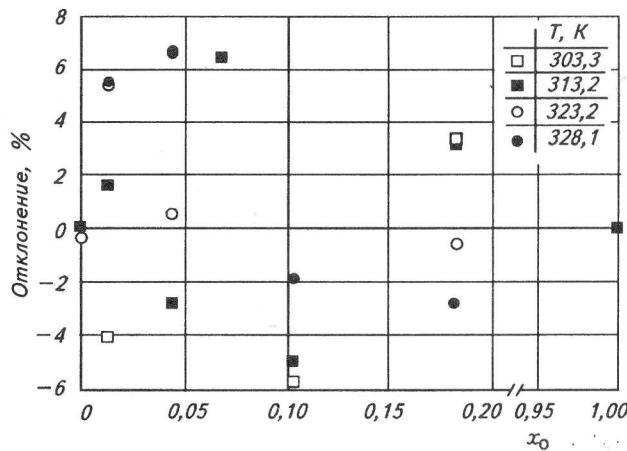


Рис. 6. Отклонения экспериментальных значений поверхностного натяжения от данных, рассчитанных по степенным зависимостям

трационная зависимость для σ_0 может быть аппроксимирована в интервале концентраций $0 \leq x_o \leq 0,22$ как

$$\sigma_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{(3920,045 - 86973,376x_o^2)}{(1 - 26,867x_o^2 + 97,508x_o^4)}}. \quad (10)$$

В рамках предложенной методики обработки экспериментальной информации по капиллярной постоянной РХМ рассчитаны таблицы справочных данных по поверхностному натяжению растворов R134a / Castrol Icematic SW 22. Полученные данные приведены в табл. 4. Температурная зависимость поверхностного натяжения показана на рис. 5. Отклонения экспериментальных данных от рассчитанных по уравнениям (7) – (10) представлены на рис. 6. Погрешность полученной информации о поверхностном натяжении РХМ (с учетом неучтенных остатков систематической погрешности, случайной погрешности и погрешности отнесения) можно оценить не более чем в 3,5 %.

Список литературы

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей: Пер. с англ. / Под ред. З.М.Зорина и В.М.Миллера. – М.: Мир, 1979.
2. Железный В.П., Реза Ф.А., Курбатов А.В. Костюков А.А. Исследования плотности жидких растворов хладагент /масло // Холодильная техника и технология. 2002. Вып. 76.
3. Железный В.П. Термодинамічні властивості озононеруйнівних хладоагентів та їх розчинів з мастилами (Експеримент, методи прогнозування, проблеми екології) : Дис...д-ра техн. наук: 05.14.06. – Одесса, 2002.
4. Жидков В.В. Эколого-энергетический анализ бытовых холодильных приборов на альтернативных хладагентах (Эксперимент и методы расчета): Дис... канд. техн. наук: 05.14.05. – Одесса, 1997.
5. Кессельман П.М., Железный В.П., Семенюк Ю.В Теплофизические свойства хладагента R134a в жидкой фазе // Холодильная техника. 1991. № 7.
6. Bambach, G. Gas Verhalten von Mineralol – F12 // Kaltemachinen Abhandlung. 1955. № 9.
7. Corr. S, Morrison J.D., Murphy F.T. An Evalution of the Effects of Lubricants on the Thermodynamic Properties and Perfomance Mixtures in Refrigeration and Air Conditioning Cycles // Proc.1996 Int. Refrig. Conf. Purdue Univ. – Purdue (USA). 1996.
8. Kenneth N. Marsh, Mohamed Kandil E. Review of thermodynamic properties of refrigerants + lubricant oil // Fluid Phase Equilibria – 2002.
9. Lloyd J.R., Limbach S. Effect of Oil Contamination on The Surface Tension of R-12 and R134a // ASME 1995, National Heat Transfer Conference, Vol.8, HTD –Vol.310.
10. Medvedev O.O., Zhelezny P.V. Zhelezny V.P. Prediction of Phase Equilibria and Thermodynamic Properties of Refrigerant/Oil solutions // Fluid Phase Equilibria. 2004. Vol. 215.
11. Mermond Y., Feidt M., Marvillet C. Proprietes thermodynamiques et physiques des melanges de Fluides frigorigemes et d'huiles // Int. J. Ref. 1999 Vol. 22.
12. Ovcharenko V.S., Zhelezny V.P., Lysenko O.V. et al. Estimation of possibility of usage of quasiazotropic mixture R134a/R152a in refrigerating engineering refrigerating engineering // Proc. 2000 Int. Refrig. Conf. at Purdue. Purdue (USA). – 2000.
13. Spauschus H.O. Thermodynamic Properties of Refrigerant-Oil Solutions // ASHRAE J. 1963. Part 2.
14. Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures (REFPROP, Version 6.0). – U.S. Department of Commerce. – Gaithersburg, Maryland, National Institute of Standards and Technology – NIST. 1998.
15. Yokozeki A. Solubility of Refrigerants in Various Lubricants // Int. J. of Thermophys. 2001. Vol.22, № 4.
16. Yokozeki A. Time-dependent Behavior of Gas Absorption in Lubricant Oil // Int. J. Ref. 2002. Vol. 25.
17. Zhelezny V.P., Abed F.R., Rybnikov M.V. Saturated vapor pressure of solutions of synthetic compressor oils (XMPA) in ammonia // High Temps – High Press. 2001. Vol.33.
18. Zhelezny P.V., Zhelezny P.V., Skripov P.V. Determination of the pseudocritical parameters for refrigerant /oil solutions // Fluid Phase Equilibria. 2003. – 212.
19. Zürcher O., Thom J.D., Favrat D. In-Tube Flow Boiling of R-407C and R407C/Oil Mixtures Part I: Microfin Tube // HVAC&R Research. Vol.4, No 4.
20. Zürcher O., Thom J.D., Favrat D. In-Tube Flow Boiling of R-407C and R407C/Oil Mixtures Part II: Plain Tube Results and Predictions // HVAC&R Research. Vol.4, No 4.