

Экспериментальное исследование теплофизических свойств компрессорных масел: MOGUL ONF 46, Planetelf ACD 100 FY, ХМИ АЗМОЛ, Lunaria FR 32, XC 15, XC 40

В.П. ЖЕЛЕЗНЫЙ, В.В. СЕЧЕНЫХ, Ю.В. СЕМЕНЮК, С.Н. АНЧЕРБАК
Одесская государственная академия холода

О. Н. ЦВЕТКОВ

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти»

This paper presents experimental data for the capillary constant, surface tension, density, refractive index and kinematic viscosity for commercial compressor oils MOGUL ONF 46, Planetelf ACD 100 FY, ХМИ АЗМОЛ, Lunaria FR 32, XC 15, XC 40 in a range of temperatures from 293 K to 353 K and isobaric capacity for oils XC 15, XC 40, Planet ACD 100 FY, ХМИ АЗМОЛ in a range of temperatures from 288 K to 393 K . The data obtained are fitted using simple correlations. Based on obtained information the pseudocritical parameters of compressor oils are determined. The tables of the thermophysical properties of the compressor oils are reported. The uncertainties of the calculated data are analysed.

Для современного холодильного оборудования научно обоснованный выбор компрессорных масел является приоритетной задачей.

Основная задача смазочных средств – исключение сухого трения, что обеспечивает соответствующий уровень коэффициента полезного действия и долговечности эксплуатируемых холодильных машин. О важности этой задачи свидетельствует тот факт, что около 60 % производимой в мире энергии расходуется на преодоление сил трения, а причиной около 70 % аварий технических устройств является неправильный режим смазки [7]. Кроме того, смазка способствует отводу части теплоты, эквивалентной работе сил трения, удалению продуктов изнашивания сопрягаемых пар и увеличению коэффициента подачи компрессора холодильной установки.

Присутствие примесей масла в элементах компрессорной системы в значительной мере влияет на термодинамические свойства рабочего тела. Энергетическая эффективность оборудования будет зависеть как от выбора хладагента, так и от оптимального выбора компрессорного масла [5, 9, 12]. Изучение вопросов циркуляции масла по контуру холодильной системы имеет принципиальное значение как при оценке эффективности компрессорной системы, так и при разработке мероприятий по интенсификации процессов теплообмена в ис-

парителе и конденсаторе. Кроме того, правильный выбор масла способствует долговременной и надежной работе холодильного оборудования.

Рынок холодильных масел, предлагаемых различными фирмами, достаточно широк. При отсутствии информации о термодинамических свойствах компрессорных масел и при многообразии применяемых хладагентов производителям холодильного оборудования, специалистам сервисного обслуживания холодильной техники достаточно трудно сделать обоснованный выбор определенного сорта холодильного масла, особенно учесть его взаимодействие с хладагентом. Не менее важной является проблема идентификации приобретаемого на рынке компрессорного масла.

В предлагаемой статье приведены данные о теплофизических свойствах шести малоизученных, но широко применяемых на практике компрессорных масел.

В диапазоне температур 20...80 °С измеряли показатель преломления, капиллярную постоянную, плотность и кинематическую вязкость образцов компрессорных масел: MOGUL ONF 46, Planetelf ACD 100 FY, ХМИ АЗМОЛ, Lunaria FR 32, XC 15 и XC 40.

Показатель преломления определяли на рефрактометре типа УРЛ-1 с ценой деления 0,0002 и погрешностью измерения 0,0001.

Поверхностное натяжение масел измеряли на установке, реализующей дифференциальный капиллярный метод [6]. Непосредственно измеряемой в опытах величиной является капиллярная постоянная (параметр Сагдена) $a_{i,k}^2$, которая в первом приближении может быть вычислена как

$$a_{i,k}^2 = \frac{\Delta H_{i,k}}{\frac{1}{b_i} - \frac{1}{b_k}}, \quad (1)$$

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

b_i, b_k – радиусы каналов измерительных капилляров, мм.

В настоящей работе для измерения капиллярной постоянной использовался модифицированный дифференциальный метод [2]: измерение разности высот поднятия менисков жидкости в нескольких парах капилляров с последующей статистической обработкой опытных данных и нахождением средневзвешенного значения $\bar{a}_{i,k}^2$.

$$\bar{a}_{i,k}^2 = \sum_{i \neq k}^k a_{i,k}^2 p_{i,k} \left/ \sum_{i \neq k}^k p_{i,k} \right. \quad (2)$$

Статистический вес $p_{i,k}$ рассчитывали как величину, обратную максимальной относительной погрешности измерения капиллярной постоянной $a_{i,k}^2$. Такая методика расчета капиллярной постоянной позволила значительно уменьшить влияние случайных погрешностей при проведении эксперимента и повысила его точность.

Измерительная ячейка для определения капиллярной постоянной представляет собой толстостенную стеклянную ампулу, внутри которой установлены три калиброванных капилляра различного диаметра [6]. Визуальное наблюдение за положением уровней менисков масла в капиллярах производили посредством катетометра КМ-8 с ценой деления 0,01 мм и погрешностью измерения 0,015 мм.

Измерение плотности шести образцов масел проводили методом пикнометра. Выбор данного метода обусловлен малой величиной погрешности измерения плотности, которая определяется вариацией аналитических весов АДВ-200 ($\Delta m = 0,0005$ г) и высокой точностью калибровки объема пикнометра [4].

Определение кинематической вязкости масел выполнено на экспериментальной установке, основным элементом которой является стеклянный капиллярный вискозиметр с висячим уровнем типа

ВПЖ-1 (ГОСТ 10028 – 81). Вязкость масел рассчитывалась по формуле

$$\nu = \frac{g}{9,807} t K, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, $\text{мм}^2/\text{с}$;

g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$ (на широте Одессы 9,8073 $\text{м}/\text{с}^2$);

t – среднее время истечения жидкости в секундах;

K – постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$.

Измерительные ячейки для определения капиллярной постоянной, плотности, а также вискозиметр термостатировались в стеклянном сосуде Дьюара емкостью 10 л. В качестве термостатирующей жидкости использовалась дистиллированная вода. В сосуде Дьюара были установлены мешалка для перемешивания термостатирующей жидкости и медный теплообменник. Для создания и поддержания заданного температурного уровня к теплообменнику подключали водоохладитель ВДО-0,35 с нагревателем регулируемой мощности. При термостатировании колебания температуры в термостате не превышали $\pm 0,02$ К. Температуру измеряли лабораторными термометрами с ценой деления 0,1 К и погрешностью измерения не более 0,2 К. Все измерения проводили многократно с целью уменьшения влияния случайной погрешности.

В процессе исследования (до и после выполненного эксперимента) проводилась тарировка измерительных ячеек. В качестве эталонных жидкостей для тарировки пикнометра и измерительных капилляров использовали дистиллированную воду [8], для определения постоянной вискозиметра – глицерин [1]. В ходе тарировочных экспериментов были определены разности обратных радиусов кри-

визны менисков жидкости в капиллярах $\frac{1}{b_i} - \frac{1}{b_k}$,

зависимость объема пикнометра от уровня жидкости в нем, а также постоянная вискозиметра K .

Зависимости абсолютных значений теплоемкости компрессорных масел ХС 15, ХС 40, Planetelf ACD 100 FY, ХМИ АЗМОЛ от температуры получены в секторе «Калориметрических исследований» НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) на дифференциальном сканирующем микрокалориметре DSC-111 фирмы SETARAM (Франция). Чувствительность калориметра составляет $3 \cdot 10^{-5}$ Дж/с.

Экспериментальные данные о теплофизических

Таблица 1

Экспериментальные данные по теплофизическим свойствам компрессорных масел

Показатель преломления н											
MOGUL ONF 46		Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		Lunaria FR 32		XC15		XC40	
T, K	n	T, K	n	T, K	n	T, K	n	T, K	n	T, K	n
294,65	1,4778	293,55	1,4565	297,35	1,4759	295,65	1,4869	292,35	1,4617	293,55	1,4646
299,65	1,4758	298,45	1,4548	303,05	1,4738	298,05	1,486	297,75	1,4596	298,95	1,4630
303,25	1,4744	303,05	1,4534	308,05	1,472	304,25	1,4838	303,75	1,4577	303,75	1,4614
308,25	1,4726	307,45	1,4518	313,35	1,47	309,35	1,4818	308,55	1,4562	308,75	1,4597
313,15	1,4706	313,15	1,4498	318,85	1,468	316,05	1,4792	312,55	1,4547	312,75	1,4585
313,45	1,4708	313,15	1,4499	323,85	1,466	323,85	1,4767	317,45	1,4530	314,95	1,4573
323,45	1,4672	325,25	1,4458	329,15	1,464	334,05	1,4726	323,55	1,4507	319,15	1,4557
333,65	1,4632	334,05	1,4428	333,05	1,4624	337,65	1,4711	327,95	1,4493	324,55	1,4542
338,65	1,4617	338,85	1,4412	338,05	1,4606	343,55	1,469	332,95	1,4475	329,35	1,4525
343,45	1,4599	343,45	1,4393	343,45	1,4585	349,05	1,467	340,15	1,4444	333,95	1,4511
353,45	1,4564	353,45	1,436	353,65	1,4546	351,25	1,466	344,75	1,443	338,95	1,4497
—	—	—	—	—	—	—	—	349,75	1,4412	343,95	1,448
—	—	—	—	—	—	—	—	354,55	1,4392	348,65	1,4451
Капиллярная постоянная а ²											
MOGUL ONF 46		Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		Lunaria FR 32		XC15		XC40	
T, K	a ² , мм ²	T, K	a ² , мм ²	T, K	a ² , мм ²	T, K	a ² , мм ²	T, K	a ² , мм ²	T, K	a ² , мм ²
298,85	7,1647	291,75	5,8109	291,55	7,0452	292,35	6,9656	294,35	8,1129	291,55	7,0843
302,55	7,1346	291,85	5,8011	291,85	7,0369	293,15	6,9526	299,35	8,0407	291,85	7,0808
303,85	7,1067	296,25	5,7618	292,85	7,0148	293,55	6,9546	304,05	7,9728	292,85	7,0689
308,25	7,0741	302,15	5,6953	298,45	6,9452	298,45	6,8879	308,35	7,9106	298,45	7,0024
313,45	6,9994	307,55	5,6482	298,55	6,9419	299,65	6,8757	313,75	7,8323	298,55	7,0013
317,15	6,9479	312,35	5,5986	303,45	6,8711	304,45	6,8066	318,75	7,7597	303,45	6,9430
319,05	6,9223	317,45	5,5437	308,45	6,8076	309,15	6,7553	323,55	7,6899	308,45	6,8835
323,45	6,8746	322,65	5,4977	313,15	6,7466	313,35	6,6827	328,55	7,6171	313,15	6,8275
328,25	6,7979	327,65	5,4377	317,25	6,6819	317,95	6,6391	333,75	7,5413	317,25	6,7785
332,75	6,749	337,55	5,3557	322,25	6,6060	322,55	6,5666	339,15	7,4624	322,25	6,7188
338,05	6,677	344,15	5,2889	327,45	6,5409	327,15	6,4978	343,35	7,4009	327,45	6,6565
342,95	6,6374	344,25	5,2816	334,25	6,4333	332,05	6,4573	348,95	7,3189	334,25	6,575
347,55	6,5731	347,55	5,2453	339,15	6,3766	338,25	6,3579	354,75	7,2338	339,25	6,5149
351,55	6,5212	352,55	5,1952	343,05	6,3169	343,55	6,2922	—	—	—	—
—	—	—	—	348,05	6,2469	348,35	6,234	—	—	—	—
—	—	—	—	352,45	6,1771	352,95	6,1717	—	—	—	—

Продолжение таблицы 1

Плотность ρ , кг/м ³											
MOGUL ONF 46		Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		Lunaria FR 32		XC15		XC40	
T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
292,85	881,47	292,95	972,01	293,55	876,88	291,85	900,22	293,95	832,1	294,35	836,36
298,15	878,1	297,85	968,43	299,65	872,63	297,95	896,17	298,25	829,22	299,35	833,15
303,05	874,89	303,05	964,74	304,45	869,48	302,85	892,84	304,05	825,37	304,05	830,11
308,15	871,47	308,15	960,93	309,15	866,15	307,75	889,58	308,55	822,17	308,35	827,24
312,75	868,41	313,15	957,22	313,35	863,23	313,15	885,90	312,95	819,33	313,75	823,96
317,95	865,11	318,15	953,63	317,95	860,12	318,75	882,04	319,35	815,22	318,75	820,62
323,15	861,71	323,35	949,73	322,55	857,05	323,95	878,59	323,55	812,53	323,55	817,78
328,15	858,4	328,55	946,1	327,15	853,79	328,85	875,35	328,75	808,92	328,55	814,58
333,35	855,17	333,45	942,27	332,05	850,59	333,75	872,03	333,75	805,86	333,75	811,35
338,15	852	338,35	938,8	338,25	846,1	338,75	868,75	339,75	802,18	339,15	808,02
342,95	848,95	343,15	935,25	343,55	842,64	343,55	865,57	344,15	799,5	343,35	805,44
347,75	845,96	348,15	931,85	348,35	839,3	347,85	862,93	350,75	795,09	348,95	801,92
352,75	842,75	352,95	928,48	352,95	836,24	352,75	859,62	354,75	792,61	354,75	798,4
Кинематическая вязкость v , мм ² /с											
MOGUL ONF 46		Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		Lunaria FR 32		XC15		XC40	
T, K	v	T, K	v	T, K	v	T, K	v	T, K	v	T, K	v
295,5	121,01	303,25	188	293,35	23,11	296,15	88,73	293,55	36,87	293,55	167,49
303,5	76,84	308,2	138,68	298,05	18,77	298,35	77,77	298,55	29,77	298,35	129,48
308,2	60,29	313	104,55	303,15	15,27	303,3	57,86	303,55	23,36	303,75	98,21
313,05	47,42	318	80,97	308,25	12,65	308,2	44,07	308,55	19,2	308,55	78,15
318,05	37,94	323	63,62	313,05	10,7	314,1	32,51	312,55	16,81	312,75	61,73
323,1	30,73	328	50,57	318,65	8,98	318,2	26,84	318,15	13,79	317,75	49,92
323,15	30,97	333,15	40,98	323,45	7,77	323	21,84	322,15	12,23	322,95	40,57
327,95	25,70	338,1	33,72	328,55	6,76	327,8	18,16	327,95	10,56	328,75	32,41
333,25	21,17	343,15	27,48	333,25	6	332,9	15,09	333,75	8,66	332,75	28,2
338,25	17,92	348,15	23,12	338,15	5,33	337,7	12,74	338,35	7,73	338,95	22,99
342,95	15,43	353,1	19,7	343,05	4,8	342,7	10,83	344,15	6,74	343,95	19,56
347,85	13,26	—	—	347,25	4,35	347,7	9,3	348,15	6,1	353,15	15,13
353,25	11,49	—	—	352,35	3,93	352,7	8,07	355,35	5,31	—	—
—	—	—	—	362,05	3,3	—	—	—	—	—	—

Изобарная теплоемкость c_p , кал/(г·К)								Изобарная теплоемкость c_p , кал/(г·К)							
Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		XC15		XC40		Planetelf ACD 100 FY		ХМИ АЗМОЛ		XC15		XC40	
T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p	T, K	c_p
297,05	0,4437	288,15	0,4563	296,02	0,4875	290	0,503	344,15	0,4769	344,25	0,4978	344,08	0,532	344,16	0,5451
300,95	0,4478	292,85	0,4629	300,03	0,4944	294,51	0,5047	348,05	0,4767	348,95	0,5065	348	0,5346	348,67	0,5486
308,85	0,4520	302,15	0,4694	308,05	0,4976	303,54	0,5104	352,05	0,482	353,85	0,5117	352,02	0,54	353,19	0,5534
312,75	0,4542	306,85	0,4723	312,06	0,5026	308,05	0,5138	355,95	0,484	358,55	0,517	356,03	0,5463	357,7	0,5597
316,65	0,4554	311,55	0,4742	316,08	0,5068	312,56	0,5162	363,85	0,4911	367,85	0,5239	364,05	0,5535	366,73	0,5654
320,55	0,4590	316,25	0,4768	320	0,5072	317,08	0,5194	367,75	0,4931	372,55	0,529	368,06	0,5592	371,24	0,5696
324,55	0,4612	320,85	0,4825	324,02	0,5134	321,59	0,5243	371,65	0,4957	377,25	0,5326	372,08	0,5619	375,75	0,5767
328,45	0,4642	325,55	0,4831	328,03	0,5167	326,11	0,5271	375,55	0,4997	381,95	0,5403	376	0,5627	380,27	0,5786
332,35	0,4674	330,25	0,4855	332,04	0,5197	330,62	0,5325	379,55	0,5024	386,55	0,5421	380,02	0,5685	384,78	0,5861
336,35	0,4686	334,95	0,4944	336,05	0,5239	335,13	0,5388	383,45	0,5055	391,25	0,5467	384,03	0,5738	389,29	0,5885

свойствах масел (a^2, n, ρ, v, c_p) приведены в табл. 1. Зависимость поверхностного натяжения масел от температуры представлена на рис. 1.

Для расчета исследуемых свойств компрессорных масел в диапазоне температур 240...370 К полученные экспериментальные данные аппроксимированы малоконстантными степенными зависимостями (4) – (6) [3]. Для аппроксимации экспериментальных данных по кинематической вязкости масел была использована формула зависимости, подобная уравнению Вальтера (7):

$$a^2 = a_0 t^{n \cdot \psi(t)}; \quad (4)$$

$$\ln(n) = \ln(\bar{n}_c) + B_n \tau^{\beta \cdot F(\tau)}; \quad (5)$$

$$\ln(\rho) = \ln(\bar{\rho}_c) + B_\rho \tau^{\beta \cdot F(\tau)}; \quad (6)$$

$$\lg[\lg(v + A)] = B - C \lg(T); \quad (7)$$

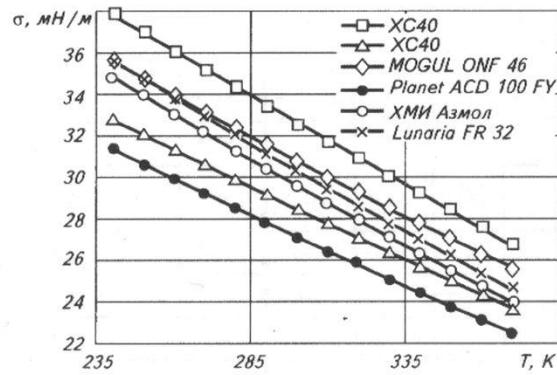


Рис. 1. Температурные зависимости поверхностного натяжения компрессорных масел

$$c_p^{0.5} = D + ET^3, \quad (8)$$

где $\bar{n}_c, \bar{\rho}_c$ – значения показателя преломления и плотности соответственно в псевдокритической точке;

$a_0, B_p, B_n, A, B, C, D, E$ – коэффициенты аппроксимационных зависимостей, определяемые из экспериментальных данных;

$\tau = \ln(\bar{T}_c/T)$ и $t = 1 - T/\bar{T}_c$ – приведенные температуры;

T – температура, К;

\bar{T}_c – псевдокритическая температура, К;

n, β – показатели степени, равные значениям соответствующих критических индексов, фигурирующих в масштабной теории [10] ($n = 0,9341$, $\beta = 0,325$);

$\psi(t), F(\tau)$ – универсальные кроссоверные функции, значения которых могут быть рассчитаны по уравнениям [13]:

$$\Psi(t) = 1 - 0,04762 \cdot \frac{t^{1,5}}{\ln(t)}; \quad (9)$$

$$F(\tau) = 1 - \frac{1,113 \tau^{0.4}}{\ln \tau}. \quad (10)$$

Проведенные исследования показывают, что константы уравнений (4) – (6) практически не зависят от объема исходной информации, в котором осуществляется аппроксимация, а сами уравнения обладают высокими экстраполяционными

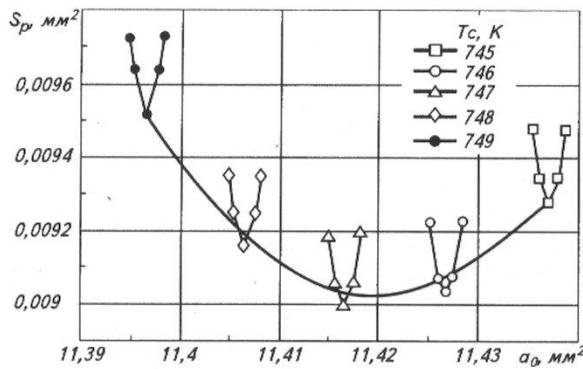


Рис. 2. Определение оптимальных значений a_0 и для масла ХМИ АЗМОЛ

возможностями [3]. Практическое применение уравнений (4) – (6) возможно лишь при наличии информации о значениях псевдокритических параметров масел. Такая информация для столь сложных объектов исследования, как компрессорные масла, в литературе отсутствует. Поэтому значения псевдокритической температуры \bar{T}_c были рассчитаны по методике, приведенной в работе [14], прошедшей детальную проверку для широкого круга химических соединений. Достоверность полученных данных подтверждают значения псевдокритических температур \bar{T}_c масел, полученные в Институте теплофизики Уральского научного центра академии наук в России профессором П.В. Скриповым [11, 14].

Расчет псевдокритической температуры \bar{T}_c осуществлялся с использованием экспериментальной информации по капиллярной постоянной компрессорных масел. Методика определения оптимальных значений \bar{T}_c заключалась в анализе харак-

тера изменения среднего квадратичного отклонения при аппроксимации экспериментальных данных уравнением (4) при варьировании в границах доверительных интервалов $\Delta\bar{T}_c$ критических параметров. Типичный характер зависимостей $S_p = f(a_0)$ на примере масла ХМИ АЗМОЛ показан на рис. 2. В качестве «оптимальных» значений \bar{T}_c принимались те величины, при которых функция $S_p = f(a_0)$ при $\bar{T}_c = \text{const}$ не только испытывала бы экстремум, но и принимала бы минимальные значения. Полученные значения псевдокритических параметров и коэффициентов уравнений (4) – (8) приведены в табл. 2.

Коэффициент поверхностного натяжения компрессорных масел был рассчитан по уравнению

$$\sigma = (g a^2 \rho')/2, \quad (11)$$

где ρ' – плотность жидкости на линии кипения.

Предложенные аппроксимационные формулы (4) – (8) адекватно описывают экспериментальные данные. Полная погрешность полученных данных (с учетом случайной составляющей и погрешности отнесения по параметрам) по теплофизическим свойствам масел не превышает: $\delta a^2 < 0,483\%$, $\delta \sigma < 0,489\%$, $\delta n < 0,013\%$, $\delta \rho < 0,055\%$, $\delta v < 0,59\%$. При измерениях теплоемкости ошибки в определении температуры и величины теплоемкости в интервале измерения 10...120 °C не превышают 0,2 К и 1,5 % соответственно для скорости нагревания 5 К/мин.

В табл. 3 приведены рассчитанные по уравнениям (4) – (8) значения показателя преломления, поверхностного натяжения, плотности, кинематической вязкости и изобарной теплоемкости исследованных компрессорных масел.

Таблица 2
Значение коэффициентов уравнений (4) – (8)

Масло	T_c , K	a_0 , мм^2	B_ρ	B_n	A	B	C	D	E, 10^{-9}	n_c	ρ_c , $\text{кг}/\text{м}^3$
MOGUL ONF 46	823	11,1846	1,79	0,5883	0,34	9,5140	3,722	–	–	0,9789	251,44
Planetelf ACD 100 FY	820/807*	8,9555	1,82	0,5605	0,78	9,3290	3,615	0,6294	1,4599	0,9839	271,78
ХМИ АЗМОЛ	747/767*	11,4165	1,687	0,5462	0,45	10,346	4,138	0,6365	1,7413	1,0147	274,73
Lunaria FR 32	774	11,0905	1,678	0,5588	0,4	10,787	4,247	–	–	1,0102	281,17
XC15	801/749*	12,7265	1,838	0,5719	0,37	9,701	3,852	0,6521	1,8861	0,9897	231,17
XC 40	829/801*	10,8589	1,845	0,5667	0,31	8,777	3,416	0,6675	1,7209	0,9845	229,41

* Данные, полученные импульсным методом в Институте теплофизики Уральского научного центра академии наук.

Рассчитанные значения теплофизических свойств компрессорных масел

Показатель преломления n							Поверхностное натяжение σ, мН/м						
T, K	MOGUL ONF 46	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	Lunaria FR 32	XC15	XC 40	T, K	MOGUL ONF 46	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	Lunaria FR 32	XC15	XC 40
240	1,4972	1,4746	1,4972	1,5073	1,4804	1,483	240	35,56	31,353	34,8	35,635	37,824	32,829
250	1,4936	1,4712	1,4935	1,5036	1,4768	1,4796	250	34,747	30,628	33,911	34,734	36,933	32,088
260	1,49	1,4679	1,4898	1,5	1,4733	1,4762	260	33,944	29,913	33,033	33,844	36,052	31,355
270	1,4864	1,4645	1,4861	1,4963	1,4697	1,4728	270	33,151	29,206	32,166	32,964	35,179	30,63
280	1,4828	1,4611	1,4824	1,4926	1,4662	1,4694	280	32,367	28,508	31,308	32,094	34,316	29,911
290	1,4792	1,4577	1,4787	1,4890	1,4626	1,466	290	31,591	27,817	30,461	31,235	33,461	29,2
300	1,4757	1,4543	1,475	1,4853	1,4591	1,4626	300	30,825	27,135	29,623	30,385	32,614	28,496
310	1,4721	1,4509	1,4712	1,4816	1,4555	1,4592	310	30,062	26,461	28,795	29,544	31,775	27,798
320	1,4684	1,4475	1,4675	1,4779	1,4519	1,4557	320	29,318	25,794	27,976	28,713	30,944	27,107
330	1,4648	1,4441	1,4637	1,4741	1,4483	1,4523	330	28,577	25,135	27,167	27,891	30,121	26,422
340	1,4612	1,4407	1,4598	1,4704	1,4447	1,4489	340	27,844	24,482	26,366	27,078	29,306	25,744
350	1,4575	1,4372	1,4560	1,4666	1,4411	1,4454	350	27,119	23,838	25,574	26,274	28,498	25,071
360	1,4538	1,4338	1,4521	1,4628	1,4374	1,4419	360	26,402	23,2	24,791	25,479	27,697	24,405
370	1,4501	1,4303	1,4482	1,4589	1,4337	1,4384	370	25,692	22,569	24,017	24,692	26,904	23,744
Плотность ρ, кг/м³							Кинематическая вязкость ν, мм²/с						
T, K	MOGUL ONF 46	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	Lunaria FR 32	XC15	XC 40	T, K	MOGUL ONF 46	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	Lunaria FR 32	XC15	XC 40
240	916,35	1011,4	913,69	935,12	867,41	871,08	240*	33106,9	197076,8	1401,05	58204,27	2595,35	27707,46
250	909,65	1003,86	906,75	928,31	860,73	864,57	250*	7634,35	36995,77	453,86	10150,29	826,93	7318,32
260	903,01	996,38	899,84	921,54	854,09	858,1	260*	2266,2	9208,97	181	2463,98	322,43	2398,34
270	896,41	988,94	892,96	914,79	847,5	851,69	270*	822,84	2874,19	84,9	774,52	147,6	935,7
280	889,84	981,55	886,1	908,08	840,94	845,3	280*	351,27	1076,97	45,23	298,41	76,84	420,8
290	883,3	974,19	879,26	901,38	834,41	838,95	290	170,94	468,25	26,64	135,09	44,38	212,66
300	876,79	966,86	872,42	894,7	827,89	832,63	300	92,52	229,93	16,99	69,54	27,9	118,35
310	870,29	959,54	865,59	888,02	821,4	826,32	310	54,63	124,8	11,56	39,68	18,8	71,37
320	863,81	952,25	858,75	881,35	814,92	820,04	320	34,64	73,57	8,28	24,59	13,41	46,03
330	857,34	944,97	851,91	874,67	808,45	813,76	330	23,30	46,46	6,18	16,29	10,03	31,41
340	850,88	937,69	845,05	867,99	801,98	807,5	340	16,45	31,06	4,78	11,4	7,81	22,49
350	844,41	930,42	838,18	861,29	795,5	801,23	350	12,1	21,79	3,8	8,34	6,29	16,77
360	837,95	923,14	831,28	854,58	789,03	794,97	360*	9,21	15,91	3,09	6,32	5,2	12,95
370	831,47	915,85	824,35	847,85	782,54	788,7	370*	7,21	12,02	2,57	4,95	4,41	10,3

С использованием полученных экспериментальных данных разработаны таблицы справочных данных по теплофизическим свойствам компрессорных масел: MOGUL ONF 46, Planetelf ACD 100 FY, ХМИ

АЗМОЛ, Lunaria FR 32, XC 15, XC 40. Полученная информация может быть использована для идентификации компрессорных масел и расчета термодинамических свойств растворов масло/хладагент.

Изобарная теплоемкость c_p , кал/(г·К)					Изобарная теплоемкость c_p , кал/(г·К)				
T, K	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	XC15	XC 40	T, K	Planetelf ACD 100 FY	ХМИ АЗМОЛ	XC15	XC 40
240*	0,4091	0,4209	0,4425	0,462	310	0,4524	0,4736	0,5008	0,5164
250*	0,4149	0,428	0,4503	0,4693	320	0,4591	0,4818	0,5099	0,5249
260*	0,4209	0,4351	0,4582	0,4768	330	0,4659	0,4902	0,5193	0,5335
270*	0,4269	0,4425	0,4663	0,4844	340	0,4729	0,4988	0,5288	0,5423
280	0,4331	0,4500	0,4747	0,4921	350	0,4799	0,5076	0,5386	0,5513
290	0,4394	0,4577	0,4832	0,5	360	0,4872	0,5165	0,5486	0,5605
300	0,4459	0,4656	0,4919	0,5081	370	0,4945	0,5257	0,5588	0,5698

* Данные экстраполированы уравнением (7).

Список литературы

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М., 1963.
2. Железный В.П. Исследование поверхностного натяжения холодильных агентов в широком диапазоне температур, включая окрестность критической точки // Теплофизические свойства веществ и материалов (ГСССД. Сер. «Физические константы и свойства веществ»). 1985. Вып. 20.
3. Железный В.П., Анчербак С.Н., Проценко Д.А. Методы прогнозирования свойств веществ на линии насыщения, включая окрестность критической точки // Холодильна техника і технологія. 2004. № 5.
4. Кивилис С.С. Плотномеры. – М.: Энергия, 1980.
5. Мельцер Л.З. Смазка фреоновых холодильных машин. – М.: Пищевая промышленность, 1969.
6. Проценко Д.А., Анчербак С.Н., Железный В.П. Экспериментальное исследование и расчет поверхностного натяжения растворов R134a/Castrol Icematic SW22 // Холодильна техника і технологія. 2004. № 6 (92).
7. Luksa A. Reologia olejow smarowych // Zeszyty naukowe Politechnika Lodzkiej. 1997. V. 7. N 260.
8. Lemmon E.W, McLinden M.O, Hubner M.L. «NIST Standard Reference Database 23, NIST thermodynamic and transport properties of refrigerants and refrigerant mixtures-REFPROP, version 7.0,» Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology (2002).
9. Ovcharenko V.S., Zhelezny V.P., Lysenko O.V. et al. Estimation of possibility of usage of quasiazotropic mixture R134a/R152a in refrigerating engineering // Proc. 2000 Int. Refrig. Conf. at Purdue. Purdue (USA), 2000.
10. Rabinovich V.A., Sheludyak Yu.E. Thermodynamics of Critical Phenomena: New Analysis of the Evaluation of Properties. – New York: Begell House Inc. Publishers, 1999.
11. Skripov P.V., Starostin A.A., Volosnikov D.V. Zhelezny V.P. Pulse Method and Precise Comparison of Oil Properties // Proc. of the Conference “Compressors-2004” Joint Conference of IIR Commissions B2 and B1 with E1 and E2. Papirnicka, Slovak Republic, 2004.
12. Zhelezny V.P., Skripov P.V., Vozny V.F., Procenko D.A., Ancherbak S.N. Influence of Admixtures of the Compressor Oil to the Enthalpy of Working Fluid in Evaporator // Proc. of the Conference “Compressors-2004” Joint Conference of IIR Commissions B2 and B1 with E1 and E2. Papirnicka, Slovak Republic, 2004.
13. Zhelezny V.P. The Methods of Prediction of the Properties for Substances on the Coexistence Curve Including Vicinity of the Critical Point // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Nonlinear Dielectric Phenomena in Complex Liquids. Jaszowiec-Ustron, Poland. – 10 – 14 May 2003, edited by S.J. Rzoska, V.P. Zhelezny.
14. Zhelezny V.P., Zhelezny P.V., Skripov P.V. Determination of the pseudocritical parameters for refrigerant /oil solutions // Fluid Phase Equilibria. 2003. 212.