

УДК 621.564

Модифицированные озонобезопасные смесевые хладагенты — заменители R22

Д-р техн. наук Б. Д. ТИМОФЕЕВ¹, канд. техн. наук В. А. НИКОЛАЕВ

канд. техн. наук П. К. НАГУЛА²

¹bortim@tut.by, ²nagulapk@mail.ru

ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны»
НАН Беларуси

220109, г. Минск, ул. акад. А. К. Красина, 99

Предложены новые модифицированные озонобезопасные смесевые хладагенты — заменители озоноразрушающего хладагента R22 в холодильном оборудовании: 0,8RC318/0,2E170, 0,96R507a/0,04E170, 0,8R507a/0,2E170. На установке с жидкостным термостатом методом пьезометра постоянного объема проведены исследования давления смесевых хладагентов на линии кипения. На теплонасосном стенде проверена работоспособность модифицированных хладагентов с использованием минерального и синтетического холодильного масла. Предложенный путь модификации озонобезопасных хладагентов позволяет значительно расширить количество известных озонобезопасных смесевых хладагентов для ретрофита работающего холодильного оборудования. Результаты исследований позволяют значительно сократить материальные затраты на ретрофит холодильного оборудования.

Ключевые слова: модифицированные озонобезопасные смесевые хладагенты, синтетическое и минеральное холодильное масло, давление пара хладагентов на линии кипения.

Modified ozone-friendly refrigerant mixtures as substitutes for R22

D. Sc. B. D. TIMOFEEV¹, Ph. D. V. A. NIKOLAEV

Ph. D. P. K. NAGULA²

¹bortim@tut.by, ²nagulapk@mail.ru

Joint Institute for Power and Nuclear Research — Sosny
Acad A. K. Krasin Street, Minsk 220109, Belarus

New modified ozone-friendly mixed refrigerants have been offered to replace the ozone-destroying R22 in refrigerating equipment: 0.8RC318/0.2E170, 0.96R507a/0.04E170 and 0.8R507a/0.2E170. A constant-volume piezometer was used to study the pressure of mixed refrigerants on the boiling line in the unit with a liquid expansion thermostat. A heat pump bench was used to test the performance of the modified refrigerants employing mineral and synthetic refrigerator oils. The offered way to modify ozone-friendly refrigerants makes it possible to expand the assortment of known ozone-friendly refrigerant mixtures for the working refrigerating equipment. The results of this research will help to considerably cut down the expenses for retrofitting such refrigerating equipment.

Keywords: modified ozone-friendly refrigerant mixtures, synthetic and mineral refrigerator oil, refrigerant gas pressure on the boiling line.

В настоящее время, под лозунгом защиты озонового слоя Земли и проблемы глобального потепления, западные производители хладагентов активно продвигают внедрение во всех отраслях, разрабатываемые ими, новые озонобезопасные хладагенты и холодильное оборудование.

Широко используемые и рекомендованные Западом озонобезопасные хладагенты группы ГФУ такие, как R134a, R404c, R410, 507a с потенциалом глобального потепления (GWP), равными 1300, 3850, 1370, 3900, соответственно, попадают под ограничение к применению по рекомендациям Киотского протокола 1997 г. с поправками [1].

Предлагаются новые хладагенты с меньшими величинами GWP: R32, XP10, R1234yf, Solkane 22L, Solkane 22M, R245fa, DYR-5 и др [2]. Номенклатура новых озонобезопасных хладагентов будет постоянно расширяться. Западные производители озонобезопасных хладагентов и холодильного оборудования заинтересованы в сохранении своего научного потенциала, производства и рынка сбыта.

Новые озонобезопасные смесевые хладагенты включают уже известные фреоны R32, R134a, R125, R152a, углеводороды R600, R600a, диметиловый эфир E170 и др. Для надежной работы компрессорного оборудования на новых хладагентах предлагаются синтетические холодильные масла: полиалкидные (PAG), полиолефирные (POE), алкилбензолные (AB) и другие новые смазочные вещества [3–7]. Изготовители холодильного оборудования рекомендуют использовать только предлагаемые ими хладагенты и масла. Это накладывает ограничения по ретрофиту работающего холодильного оборудования и вынуждает заказчиков к покупке нового, по утверждению разработчиков, более энергоэффективного холодильного оборудования.

В табл. 1 приведены результаты расчетов основных параметров холодильного термодинамического цикла освоенных и новых хладагентов при температуре кипения в испарителе $t(1'') = -10\text{ }^\circ\text{C}$ и конденсации $t(2'') = 35\text{ }^\circ\text{C}$.

В табл. 1 приняты обозначения: $P(1'')$ — давление кипения хладагента в испарителе, $P(2'')$ — давление хладагента в конденсаторе, $t(2)$ — температура хладагента на выходе компрессора, ε — холодильный коэффициент цикла.

Таблица 1

Результаты расчетов основных параметров холодильного термодинамического цикла освоенных и новых хладагентов

Хладагент	$P(1)$, бар	$P(2)$, бар	$t(2)$, °C	ϵ	GWP
R22	3,65	13,50	74,1	3,75	1700
R134a	2,01	2,87	55,4	3,73	1300
R404a	4,31	16,1	52,0	3,41	3260
R407c	3,20	13,5	64,6	3,64	1530
R410a	5,73	21,38	71,0	3,50	1370
R507a	4,49	16,5	51,8	3,38	3500
S22M	2,83	11,83	51,9	3,55	1950
R227ca	1,33	6,11	35,8	3,45	3300
R717	2,90	13,5	140,0	3,60	<1
R744	26,5	64,3	70,7	3,51	<1
R32	5,83	21,9	92,6	3,58	580

Из табл. 1 видно, что величина холодильного коэффициента цикла ϵ для R22 и R134a выше других хладагентов. По величине холодильного коэффициента цикла они ниже на 3÷10%. Защитники климата Земли от потепления, при поддержке производителей хладагентов и холодильного оборудования, активно выступают за поэтапное сокращение потребления хладагентов группы ГФУ с величиной GWP > 1000. Под эти ограничения попадают практически все ранее рекомендованные озонобезопасные смеси хладагентов группы ГФУ.

Весьма актуальна задача ретрофита работающего холодильного оборудования с хладона R22 на озонобезопасные смеси хладагентов без замены холодильного масла на минеральной основе. Особенно это относится к турбокомпрессорному оборудованию, которое работает на хладагенте R22 с использованием минеральных масел.

Эти масла обладают хорошими эксплуатационными свойствами, смешиваются с углеводородами. Углеводородные хладагенты, такие как бутан (R600), изобутан (R600a), пропан (R290), диметиловый эфир (E170) и др., имеют хорошую растворимость с минеральным маслом и могут быть использованы в качестве добавок к озонобезопасным хладагентам группы ГФУ для обеспечения переноса и возврата масла в картер компрессора холодильного оборудования [3]. Следует учитывать, что холодильное масло на минеральной основе значительно дешевле синтетического.

Добавку вышеуказанных углеводородов в озонобезопасные смеси хладагентов мы рассматриваем как модификацию хладагентов, которая позволяет применение минеральных масел в холодильном оборудовании.

В ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси проводятся работы по испытанию озонобезопасных смесевых хладагентов с целью использования их для ретрофита работающего холодильного оборудования с хладона R22. На теплонасосном стенде ТН-10 была испытана бинарная озонобезопасная смесь 0,8RC318/0,2E170 с использованием холодильного масла на минеральной основе Capella 32. Однако, для широкого использова-

ния такого подхода требуется экспериментальное исследование для разного состава смеси. Особое внимание необходимо уделять таким вопросам, как возврат масла в картер компрессора, температура сжатия на выходе компрессора, вспенивание и растворимость масла в смесевом хладагенте.

Для оптимизации состава смесей и сохранения работоспособности холодильного оборудования было приготовлено два озонобезопасных смесевых хладагента с массовой долей компонентов 0,96R507a/0,04E170 и 0,8R507a/0,2E170. Испытания смеси 0,96R507a/0,04E170 проводили на стенде ТН-10 с использованием минерального холодильного масла Capella 32. Испытания смеси 0,8R507a/0,2E170 проводили с использованием синтетического масла EAL Arctic 32. Результаты проведенных испытаний подтвердили работоспособность разработанных новых озонобезопасных смесей для ретрофита холодильного оборудования с хладона R22 смесей.

Результаты измерений зависимости $P_s - T_s$ указанных смесевых хладагентов показаны на рис. 1, 2.

Экспериментальные величины давления пара смесевых хладагентов 0,96R507a/0,04E170 на линии кипения в исследуемом интервале температуры 10÷60°C согласуются с расчетными данными и с погрешностью 0,9% описываются полиномом

$$P = 6,99411 + 0,08221t + 0,00425t^2 \quad (1)$$

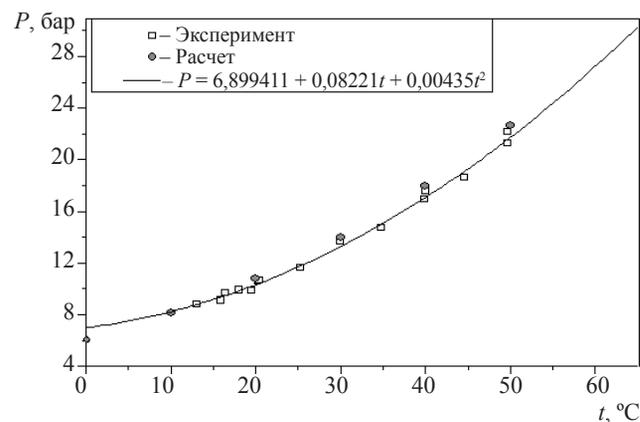


Рис. 1. Зависимость $P_s - T_s$ смесевых хладагента 0,96R507a/0,04E170 на линии кипения

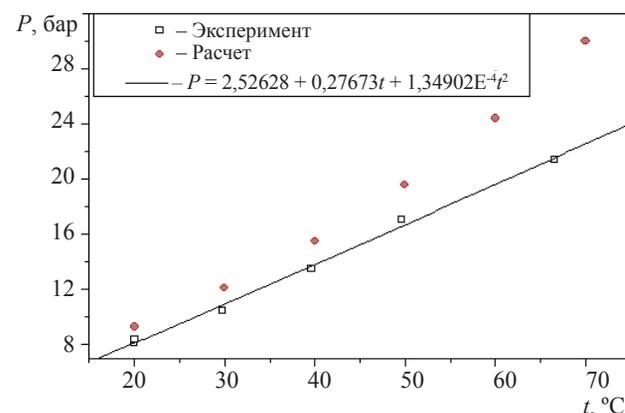


Рис. 2. Зависимость $P_s - T_s$ хладагента 0,8R507a/0,2E170 на линии кипения

Экспериментальные величины давления пара смесового хладагента 0,8R507a/0,2E170 на линии кипения в исследуемом интервале температуры 20–60 °С с погрешностью 0,9% описаны полиномом

$$P = 2,52628 + 0,27673t + 1,34902 \cdot 10^{-4}t^2. \quad (2)$$

Из рис. 2 видно, что экспериментальные данные расположены систематически ниже рассчитанных теоретических величин. Это расхождение при температуре 20 °С составляет 4% и возрастает при температуре 60 °С до 25%. Такое поведение смеси хладагентов указанного состава требует отдельного изучения. Следует учитывать, что зависимость $P_s - T_s$ хладагента E170 на линии кипения практически в два раза ниже R507a. Компоненты исследуемой смеси (R125, R143a и E170) имеют различные величины критических параметров (P_k, T_k) и структуру молекул. Метод теоретических расчетов таких систем требует учета экспериментальных данных в первую очередь в области практического использования холодильного и теплонасосного оборудования.

Выводы

На теплонасосном стенде ТН-10 проверена работоспособность смесового хладагента 0,96R507a/0,04E170 с использованием минерального холодильного масла Capella 32 и смесового хладагента 0,8R507a/0,2E170 с использованием синтетического холодильного масла EAL Arctic 32. Исследования проведены в диапазоне температуры кипения хладагентов от –33 до –8 °С.

Результаты проведенных испытаний показали работоспособность предложенных озонобезопасных смесей с использованием холодильного и синтетического масла. Выданы рекомендации для ретрофита работающего холодильного оборудования с хладона R22.

Методом массового смешения компонентов R507a и E170 были приготовлены две смеси 0,96R507a/0,04E170 и 0,8R507a/0,2E170. Исследованы зависимости $P_s - T_s$ смесей указанного состава для контроля рабочих параметров холодильного оборудования и уточнения методов теоретических расчетов таких смесей.

Для практического использования указанных смесей в холодильном оборудовании особое внимание необходимо уделить конструктивному решению по возврату холодильного масла в картер компрессора, температуре сжатия на выходе компрессора, вспениванию и растворимости масла в смесовом хладагенте.

Список литературы

1. Цветков О. Б. Хладагенты на посткиотском экологическом пространстве // Холодильная техника. 2012. № 1. С. 70–72.
2. Цветков О. Б. Современные холодильные агенты и хладоносители // Микроклимат и Холод, журнал для практиков. 2012. С. 21–23.
3. Бабакин Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем/Б. С. Бабакин/Монография. — Рязань: Узорочь, 2003. 470 с.
4. Цветков О. Б. Свойства холодильных масел и маслофреоновых растворов/О. Б. Цветков, О. Н. Цветков, Ю. А. Лаптев/Уч. пособие — СПбГУНиПТ, 2010. 188 с.
5. Ховалыг Д. М., Цой А. П., Синицина К. М., Бараненко А. В. Энергоэффективность и экологическая безопасность техники низких температур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2014. № 1.
6. Бараненко А. В. Итоги работы МАХ в 2012–2013 годах (доклад президента МАХ на 20-м общем годовичном собрании 23 апреля 2013 г.) // Вестник Международной академии холода. 2013. № 2.
7. Coulomb D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4.

References

1. Tsvetkov O. B. *Holodil'naja tehnika*. 2012. No 1. pp. 70–72.
2. Tsvetkov O. B. *Mikroklimat i Holod, zhurnal dlja praktikov*. 2012. pp. 21–23.
3. Babakin B. S. *Hladagenty, masla, servis holodil'nyh sistem*/B. S. Babakin/Monografija. — Rjazan': Uzoroch'e, 2003. 470 s.
4. Tsvetkov O. B. *Svojstva holodil'nyh masel i maslofreonovyh rastvorov*/O. B. Tsvetkov, O. N. Tsvetkov, Ju. A. Laptev/Uch. posobie — SPbGUNiPT, 2010. 188 p.
5. Hovalyg D. M., Coj A. P., Sinicina K. M., Baranenko A. V. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija «Holodil'naja tehnika i kondicionirovanie»*. 2014. No 1.
6. Baranenko A. V. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2013. No 2.
7. Coulomb D. *World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2012. № 4.