

УДК 621.574

Результаты экспериментального исследования работоспособности озонобезопасной смеси Экохол 1 с использованием минерального холодильного масла

Д-р техн. наук **Б. Д. ТИМОФЕЕВ**¹, канд. техн. наук **П. К. НАГУЛА**²,
Т. А. ЗАЯЦ

¹bortim015@mail.ru, ²nagulapk@mail.ru

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

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

Д. А. АКУЛИЧ

6402162@tut.by

Частное предприятие «Хладагент»

223053, Республика Беларусь, г. Минск, Боровая, 3

Для перевода холодильного оборудования рефрижераторной вагонной секции с озонопасного смесового хладагента C10M1 без замены минерального холодильного масла предлагается озонобезопасная смесь Экохол 1 (0,8R125/5,7R600a/93,5R134a). Ее работоспособность подтверждена в интервале температур кипения в испарителе от -8 до -31 °C на модернизированном стенде TH-1M с установкой маслоотделителя для возврата холодильного масла в картер компрессора. Приведено описание стенда TH-1M, результаты испытаний и согласование с расчетными данными зависимости Ps-Ts смеси Экохол 1 до и после экспериментов. Даны рекомендации для модернизации холодильного оборудования рефрижераторной вагонной секции и использования озонобезопасной смеси Экохол 1 без замены минерального холодильного масла. Это позволяет значительно сократить затраты на перевод холодильного оборудования рефрижераторной вагонной секции на озонобезопасный смесовой хладагент Экохол 1.

Ключевые слова: холодильное оборудование, хладагент, озонобезопасная смесь, синтетическое холодильное масло, минеральное холодильное масло, Экохол 1.

Pilot study of Ecohol 1 ozone-safe mix with the use of mineral refrigerating oil

D. Sc. **B. D. TIMOFEEV**¹, Ph. D. **P. K. NAGULA**², **T. A. ZAYATS**

¹bortim015@mail.ru, ²nagulapk@mail.ru

Joint Institute for Power and Nuclear Research — Sosny

Acad A. K. Krasin Street, Minsk 220109, Belarus

D. A. AKULICH

6402162@tut.by

Private enterprise «Refrigerant»

223053, Belarus, Minsk, Borovaya, 3

Ecohol 1 ozone-safe mix (0.8R125/5.7R600a/93.5R134a) is proposed to be applied for shift of refrigerating car set cooling equipment from C10M1 mixed ozone-unsafe refrigerant without change of mineral refrigerating oil. Efficiency of the mix was proved for the boiling range from -8 to -31 °C in vaporizer at TH-1M upgraded facility with oil separator installation for refrigerating oil return into compressor crankcase. The paper deals with description of TH-1M facility as well as test results and their agreement with data on Ps-Ts dependences of Ecohol mix before and after the tests. Recommendations for upgrading of refrigerating car set cooling equipment and the application of the Ecohol ozone-safe mix without change of mineral refrigerating oil are given. It allows significant reducing the cost of the refrigerating car set cooling equipment shift to Ecohol 1 mixed ozone-safe refrigerant.

Keywords: refrigerating equipment, coolant, ozone-safe mix, synthetic refrigerating oil, mineral refrigerating oil, Ecohol 1.

В Республике Беларусь, в рамках принятых обязательств по защите озонового слоя Земли, выполняются мероприятия по ускоренному выводу из обращения озоноразрушающих веществ (ОРВ).

В рефрижераторных секциях вагонного депо г. Молодечно было установлено холодильное оборудование типа

ВР18х2-1-2 на хладагенте R12, которое было переведено на смесовой хладагент C10M1. По ТУ 2412-003-32837395-98 он содержит ОРВ R21, R22 и R142b в количестве 0,05, 0,65 и 0,30 массовых долей, соответственно. Для замены озоноразрушающего хладагента C10M1 в холодильном оборудовании вагонной рефрижераторной секции пред-

лагается смесевой хладагент группы HFC Экохол 1 (0,8R125/5,7R600a/93,5R134a) с использованием минерального холодильного масла. Производители озонобезопасных смесевых хладагентов группы HFC, при их применении в холодильном оборудовании, рекомендуют использовать только синтетическое холодильное масло [1, 2]. Опубликованы новые материалы по применению различных минеральных и синтетических холодильных масел для холодильного оборудования на смесевых хладагентах группы HFC [3, 4].

Главной проблемой использования новых озонобезопасных хладагентов в холодильном оборудовании является не только совместимость хладагента с маслом [5], но и его возврат в картер компрессора [6].

Производители озонобезопасных смесевых хладагентов марки RS-24 с добавками углеводородов R600 (бутан) и R600a (изобутан) рекомендовали их для холодильного оборудования с минеральным маслом [7]. Экспериментально показано, что R600a растворяется в минеральном масле ISO VG15 [8]. Это дополнительно явилось основанием для проверки работоспособности озонобезопасной смеси Экохол 1 с применением холодильного минерального масла на модернизированном стенде ТН-10М. Для возврата холодильного масла в картер компрессора из рабочей смеси хладагент-масло на выходе компрессора был установлен маслоотделитель (МО) типа Carly TURBOL 2505.

На рис. 1 приведена принципиальная схема модернизированного стенда ТН-10М.

Хладагент из верхнего коллектора испарителя (И) при давлении P_1 и температуре $t_{1''}$ через теплообменник (ТО) поступает на вход компрессора (КМ). ТО защищает КМ от влажного хода. На выходе КМ хладагент поступает в МО при давлении P_2 и температуре t_2 . В МО происходит отделение масла от хладагента и его возврат в картер КМ. Далее, освобожденный от масла, хладагент направляется в конденсатор (К), где конденсируется при температуре t_3 за счет охлаждения воздушным потоком G_r . Температура воздушного потока увеличивается от t_{w1} до t_{w2} . Затем хладагент переохлаждается в ТО, проходит через осушительный фильтр (Ф) и после терморегулирующего вентиля (ТРВ) в виде парожидкостной смеси при давлении P_1 и температуре t_4 поступает в нижний коллектор И. На верхнем коллекторе И цикл замыкается. Воздушный тракт вентилятора B_2 и электронагреватель (ЭН) воздушного потока G_x были отключены для имитации теплообмена элементов испарителя рефрижераторной секции.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Обозначения измеряемых параметров в таблице соответствуют рис. 1.

Результаты проведенных исследований показали:

— с помощью регулировки ТРВ достигнуты температурные значения хладагента на входе в испаритель t_4 от -8 до -31 °С;

— при температуре окружающего воздуха в помещении $t_{oc} = 17-18$ °С температура хладагента на выходе из компрессора t_2 была не более 60 °С;

— дозагрузка хладагента Экохол 1 проведена 16.12. и 19.12.2014 г. с целью увеличения нагрузки на испаритель;

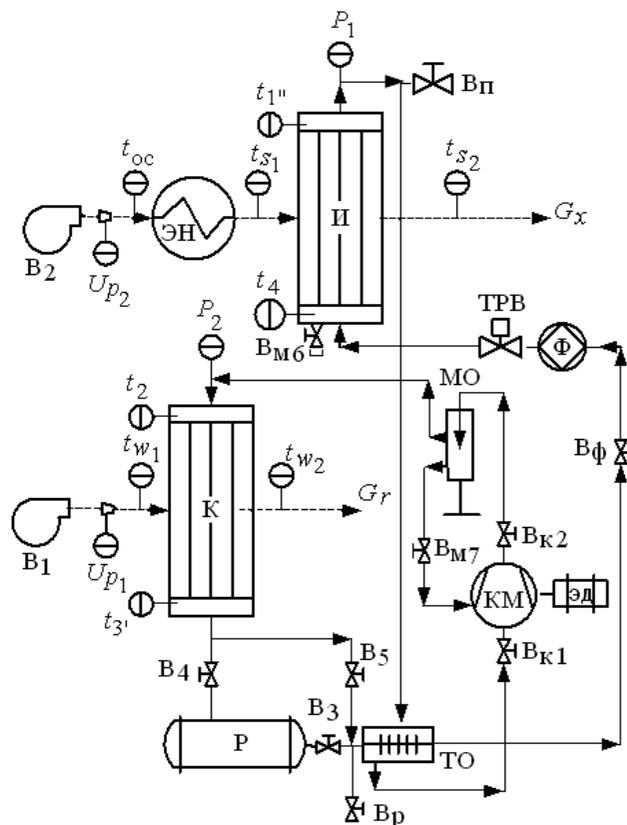


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированного стенда ТН-10М: КМ — компрессор; ЭД — электродвигатель; К — конденсатор; ТО — теплообменник; Р — ресивер; Ф — фильтр; И — испаритель; МО — маслоотделитель; B_1, B_2 — вентиляторы подачи воздуха; ЭН — электронагреватель воздуха; ТРВ — терморегулирующий вентиль; B_i — вентили технологические;
 t_2 — температура сжатия хладагента в компрессоре, °С;
 t_4 — температура хладагента на входе в испаритель, °С;
 t_3 — температура хладагента на выходе из конденсатора, °С;
 t_{w1} — тем-пература воздуха на входе в конденсатор, °С;
 t_{oc} — температура воздуха в помещении, °С;
 t_{s1} — температура воздуха на входе в испаритель, °С;
 $t_{1''}$ — температура хладагента на выходе из испарителя, °С;
 t_{s2} — температура воздуха на выходе из испарителя, °С;
 t_{w2} — температура горячего воздуха на выходе из конденсатора, °С; U_{P1} — перепад давления на диафрагме в воздуховоде конденсатора, мм вод. ст.; U_{P2} — перепад давления на диафрагме в воздуховоде испарителя, мм вод. ст.;
 P_1 — давление хладагента в испарителе, атм;
 P_2 — давление хладагента в конденсаторе, атм;
 G_x — расход воздуха через испаритель, кг/с;
 G_r — расход воздуха через конденсатор, кг/с

— температура хладагента на выходе из испарителя $t_{1''}$ изменялась от $-2,5$ до 18 °С, т. к. испаритель не имел тепловой изоляции, а перекрытый воздухопровод вентилятора B_2 при $G_x = 0$ и $U_{P2} = 0$ проявил эффект «открытой двери холодильника»;

— температура воздуха t_{w2} на выходе из конденсатора составляла от 20 до 30 °С за счет изменения его расхода G_r от вентилятора B_1 с контролем перепада U_{P1} ;

— значения давления хладагента в испарителе P_1 и конденсаторе P_2 в зависимости от t_4 и t_3 соответствуют расчетным данным работы [9].

Экспериментальные данные исследования работоспособности озонобезопасной смеси Экохол 1 (0,8R125/5,7R600a/93,5R134a) на модернизированном стенде ТН-10М

$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{wl}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{oc}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{sl}}, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{s2}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{w2}}, ^\circ\text{C}$	$U_{\text{p2}}, \text{мм}$	$U_{\text{p1}}, \text{мм}$	$P_2, \text{атм}$	$P_1, \text{атм}$
Первичная установка ТРВ (10.12.2014 г.)												
46,6	-8,3	24,1	17,5	17,4	17,0	11,0	11,5	28,4	20	2,0	6,6	1,3
Регулировка ТРВ (11.12.2014 г.)												
56,4	-31,1	24,4	19,0	18,9	18,4	17,2	15,3	23,5	10,0	2,0	6,9	0,0
$G_x = 0$, регулировка ТРВ (12.12.2014 г.)												
56,4	-23,9	21,3	18,3	16,1	14,4	4,4	10,6	25,2	2,0	0,0	6,9	0,3
Регулировка ТРВ (15.12.2014 г.)												
55,3	-14,5	26,1	18,4	16,2	14,4	1,8	10,3	30,7	2,0	0,0	7,0	0,9
Дозагрузка 1 кг Экохол 1 (16.12.2014 г.)												
51,6	-12,3	29,5	19,1	16,9	15,5	-2,5	14,1	32,8	2,0	0,0	8,0	1,0
Дозагрузка 1 кг Экохол 1 18.12.2014 г.												
46,5	-12,8	25,2	17,0	14,8	18,6	2,0	10,6	28,9	5,0	0,0	7,0	1,0
Дозагрузка 1 кг Экохол 1, регулировка ТРВ (19.12.2014 г.)												
56,7	-19,7	26,5	18,9	17,0	15,0	3,3	11,1	29,3	5,0	0,0	7,6	0,6
Регулировка ТРВ (20.12.2014 г.)												
55,4	-32,0	24,8	19,1	17,2	15,6	8,6	12,4	23,8	8,0	0,0	7,0	-0,1
Регулировка ТРВ (22.12.2014 г.)												
55,0	-33,6	24,8	19,2	17,1	15,5	8,6	12,3	23,7	5,0	0,0	7,0	0,0
Регулировка ТРВ (23.12.2014 г.)												
57,5	-31,1	25,7	22,0	17,9	16,5	9,0	13,2	24,5	5,0	0,0	7,4	0,0
Регулировка ТРВ (24.12.2014 г.)												
53,8	-31,1	23,6	18,5	16,4	15,4	11,2	13,4	22,3	5,0	0,0	6,9	0,1
Регулировка ТРВ (26.01.2015 г.)												
48,5	-31,8	21,1	16,3	14,0	13,8	11,1	12,7	19,9	5,0	0,0	6,3	-0,1
Регулировка ТРВ (10.02.2015 г.)												
44,0	-30,6	20,2	15,2	13,2	13,0	11,2	12,4	18,9	5,0	0,0	6,0	-0,1

Главными критериями работоспособности хладагента Экохол 1 при заданных условиях эксплуатации являются:

- воспроизводимость величины t_4 ;
- неизменность компонентного состава озонобезопасного хладагента;
- возврат холодильного масла в картер компрессора;
- работоспособность компрессора с учетом его плановой остановки на сутки и более с последующим запуском.

На рис. 2 показана экспериментальная зависимость давления от температуры на линии кипения хладагента Экохол 1 и табличные значения хладагента R12. Видно, что кривая зависимости давления от температуры на линии кипения Экохол 1 до и после экспериментов практически осталась неизменной и лежит выше R12.

До и после экспериментов на стенде ТН-10М газохроматографическим методом на модернизированном хроматографе ЛХМ 72М исследован массовый состав

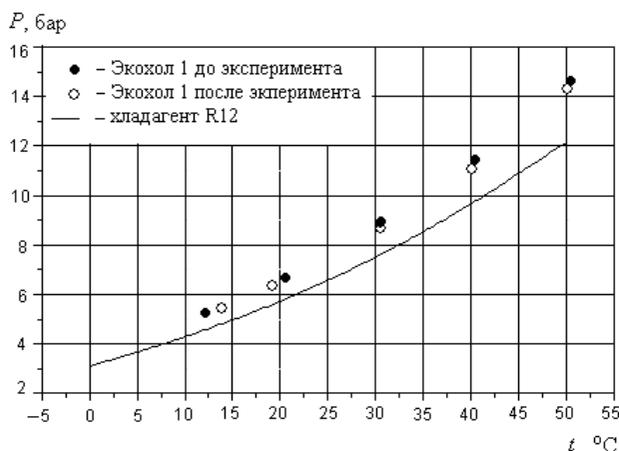


Рис. 2. Зависимость давления от температуры на линии кипения хладагента R12 и Экохол 1

смеси Экохол 1. Результаты исследований подтвердили стабильность массового состава смеси Экохол 1 в пределах погрешности измерений $\pm 5\%$.

Проведенное экспериментальное исследование смеси Экохол 1 показало ее работоспособность с холодильным минеральным маслом при температуре кипения до $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ и избыточных давлениях от 0 до 8 атм.

При переводе холодильного оборудования с хладагента R12 на озонобезопасную смесь типа Экохол 1 без замены холодильного минерального масла, необходимо на выходе хладагента из компрессора устанавливать маслоотделитель. Это позволяет осуществлять возврат холодильного масла в картер компрессора. Для масштабного внедрения смеси Экохол 1 в холодильном оборудовании без замены холодильного минерального масла в рефрижераторных вагонных секциях необходимы: модернизация рабочего холодильного контура с установкой маслоотделителя, установка осушительного и антикислотного фильтров для хладагентов группы HFC, индикатора влажности и проведение натурных испытаний. По нашим оценкам, это приведет к меньшим финансовым затратам по сравнению с закупкой и установкой нового компрессорного оборудования на озонобезопасных хладагентах.

Список литературы

1. Бабакин Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем. — Рязань: Узорочье, 2003. 470 с.
2. Цветков О. Б. Холодильные агенты. 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. 216 с.

3. Шишов В. В. О холодильном масле // Холодильная техника. 2014. № 7.
4. Железный В. П., Семенюк Ю. В. Теплофизические свойства растворов хладагентов компрессорных масел. Монография. — Одесса: Феникс, 2013. 419 с.
5. Цуранов О. А., Крысин А. Г. Холодильная техника и технология / Под ред. проф. В. А. Гуляева — СПб: Лидер, 2004. 448 с.
6. Сапожников В. В. Проблема возврата масла // Холодильная техника. 2013, № 7.
7. RS-24 // Refrigerant Solutions Ltd. 2012.
8. Железный В. П., Мельник А. В. Кипение в гладкой трубе раствора R600a/минеральное масло ISO VG 15 // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С.13–18.
9. McLinden M. O., Klein S. A. Perkins R. A. An extended corresponding states model for the thermal conductivity of refrigerants and refrigerant mixtures // Int. J. Refrigeration. 2000. Vol. 23. P. 43–63.
10. REFPROP. Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties. NIST Standard Reference Database 23. Version 7.1.

References

1. Babakin B. S. Coolants, oils, service of refrigerating systems. Ryazan': Uzoroch'e, 2003. 470 p. (in Russian)
2. Tsvetkov O. B. Refrigerating agents. St.-Petersburg. 2004. 216 p. (in Russian)
3. Shishov V. V. About refrigerating oil. *Kholodil'naya tekhnika*. 2014. No 7. (in Russian)
4. Zheleznyi V. P., Semenyuk Yu. V. Heatphysical properties of solutions of coolants compressor oils. Monograph. Odessa: Feniks, 2013. 419 p. (in Russian)
5. Tsuranov O. A., Krysin A. G. Refrigerating equipment and technology. Pod red. V. A. Gulyaeva, St.-Petersburg. Lider, 2004. 448 p. (in Russian)
6. Sapozhnikov V. V. Oil return problem. *Kholodil'naya tekhnika*. 2013, No 7. (in Russian)
7. RS-24. *Refrigerant Solutions Ltd*. 2012.
8. Zhelezny V. P., Melnik A. V. The boiling of the R600a/mineral oil ISO VG 15 solution in smooth tube. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 2. p. 13–18. (in Russian)
9. McLinden M. O., Klein S. A. Perkins R. A. An extended corresponding states model for the thermal conductivity of refrigerants and refrigerant mixtures. *Int. J. Refrigeration*. 2000. Vol. 23. P. 43–63.
10. REFPROP. Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties. NIST Standard Reference Database 23. Version 7.1.

Статья поступила в редакцию 13.04.2015