

Оценка перспектив применения экологически безопасных хладагентов в бытовой холодильной технике

Д-р техн. наук **И.М.КАЛНИНЬ**
Московский государственный
университет инженерной экологии,
В.И.СМЫСЛОВ
Ассоциация «Холод-Быт»,
К.Н.ФАДЕКОВ
НП СЦ «НАСТХОЛ»

В современных условиях прогресс в любом виде техники, в том числе и в бытовой холодильной, имеет два взаимосвязанных направления: совершенствование технических характеристик, определяющих целевую функцию изделий, и обеспечение их экологической безопасности (как при эксплуатации, так и в процессе производства). Иногда конкретные технические решения по этим направлениям дополняют друг друга и приводят к более весомому результату — повышению общего уровня качества изделия.

На выбор рабочих веществ, используемых в холодильной технике, все сильнее влияют требования, вытекающие из международных решений по защите экосферы планеты. В Российской Федерации ряд таких требований подкреплен соответствующими государственными актами¹.

Рабочие вещества, применяемые в настоящее время в холодильной технике, должны соответствовать следующим требованиям:

- не иметь озоноразрушающего

потенциала ($ODP = 0$; в течение ограниченного периода времени допускается применение веществ с малой величиной ODP , так называемых веществ переходного типа по приложению «С» к Монреальскому протоколу);

- иметь минимальный потенциал глобального потепления ($GWP \rightarrow 0$);

- обеспечивать высокую энергетическую эффективность холодильного оборудования.

Можно с уверенностью прогнозировать, что перечисленные требования будут постоянно ужесточаться не только из-за сокращения периода применения веществ переходного типа в рамках решений Монреальского протокола², на чем постоянно настаивают страны Европейского союза, но и в результате принятия мер по регулированию эмиссии парниковых газов в рамках Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН по изменению климата (1997 г.).

An evaluation of prospects of use of hydrocarbons and other combustible working substances in domestic refrigerating equipment has been carried out. An analysis of energy efficiency of refrigerators in case of transition from R12 to ecologically safe refrigerants is given. The changes that should be introduced into design and manufacturing technology of domestic refrigerating equipment in case of such a transition are indicated. It is concluded that fulfillment of safety requirements in the designs and manufacturing technologies of refrigerators (freezers) is quite feasible.

Это приведет к тенденции вытеснения альтернативных озоноразрушающих веществ (OPB), входящих в группы гидрохлорфторуглеродов ($ГХФУ$) и гидрофторуглеродов ($ГФУ$) и переходу на «природные» вещества, в большинстве своем удовлетворяющие требованиям упомянутых международных документов.

В общем случае к природным рабочим веществам для парокомпрессионных холодильных машин относят углеводороды (пропан, изобутан, бутан, а также смеси на их основе), аммиак и диоксид углерода. Из этого перечня, учитывая особенности конструкции бытовых холодильников и область их применения, це-

лесообразно рассматривать в качестве потенциально пригодных углеводороды как вещества, имеющие нулевые значения ODP и малые значения GWP .

В связи с изменениями в оценке экологической безопасности, вызванными принятием Киотского протокола, потребуется внести коррективы в разработанную ранее и реализуемую в настоящее время стратегию перехода на экологически безопасные хладагенты в России [3]. В первую очередь надо наметить сроки перехода на полностью экологически безопасные рабочие вещества. В частности, необходимо с максимальной достоверностью определить период, в течение

Смесеые хладагенты отечественного производства — заменители R12

Характеристики хладагентов	Смесь	C10M1*	C10	Экохол-3	M1LE**	C1
Компоненты смеси	R22/R142b	R22/R142b/R21	R22/R21	R22/R142b/RC318	R22/R142b/R21+добавка	R152a/R600a
Массовые доли компонентов, %	60/40	—	50/50	40/48/12	—	70/30
Озоноразрушающий потенциал (ODP)	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0
Потенциал глобального потепления (GWP)	1700****	1700****	1700****	2000****	1700****	98
Горючесть	Негорючий	Негорючий	Негорючий	Негорючий	Негорючий	Горючий
Токсичность, ПДК р.з, мг/м ³	3000	3000***	> 2000***	3000	3000***	2200
Технические условия	ТУ 3412-008-07623164-99	ТУ 2412-003-32837395-98	ТУ 2412-001-00132837-95	ТУ 2412-007-07623164-99	ТУ 2412-313-05763458-2001	ТУ-2412-0400-0480689-94
Производитель	ОАО «Кирово-Чепецкий химкомбинат»	АОЗТ «Астор»	ОАО «Галоген»	ОАО «Кирово-Чепецкий химкомбинат»	ВОО «Химпром»	ЗАО «Инертек» АООТ «Каустик»

*Вещества марок А, Б, В с различными концентрациями компонентов.

**Вещества марок А, Б, В с различными концентрациями компонентов, добавки 0,05 %.

***R21 имеет ПДК р.з — 200 [4].

****GWP указан для компонента, содержащегося в смеси в наибольшем количестве.

¹Постановления Правительства РФ от 05 мая 1999 г. № 490 «Об усилении мер государственного регулирования производства и потребления озоноразрушающих веществ в Российской Федерации»; от 09 декабря 1999 г. № 1368 «Об усилении мер государственного регулирования ввоза в Российскую Федерацию и вывоза из Российской Федерации озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции»; от 19 декабря 2000 г. № 1000 «Об уточнении срока реализации мер государственного регулирования производства озоноразрушающих веществ в Российской Федерации».

²ЮНЕП. «Обновленное издание 1977 г. «Руководства по международным договорам в области охраны озонового слоя». Секретариат по озону. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. 1998 г.

которого бытовая холодильная техника, работающая на веществах, имеющих высокие значения GWP, будет конкурентоспособной с учетом расширяющейся практики комплексной оценки вклада вещества в процесс глобального потепления на основе расчета показателя TEWI [9].

Сегодня ситуация характеризуется и тем, что с 2000 г. производство R12 в России прекращено в соответствии с постановлением Правительства РФ от 19 декабря 2000 № 1000. В «переходный период» до 1 января 2006 г. источником поступления этого хладагента могут служить созданные заранее его запасы (банки), а также R12, извлеченный из оборудования и восстановленный методом рециркуляции. Анализ практики формирования банков, ожидаемой системы распределения запасов, планируемых масштабов рециркуляции показывает, что реальная возможность использования R12 в производстве бытовой холодильной техники в переходный период будет постоянно снижаться и на нее не следует рассчитывать.

За последние годы на внутреннем рынке России отечественными производителями предложен ряд альтернативных смесевых хладагентов, базирующихся на переходных рабочих веществах (табл. 1). Основные свойства этих хла-

дагентов таковы, что применение их не связано, как правило, с необходимостью серьезных изменений в конструкции и технологии изготовления бытовой холодильной техники. Кроме того, их можно использовать не только при ее производстве, но и при ремонте (кроме горючего C1).

С учетом сложного положения, в котором окажутся некоторые предприятия, выпускающие бытовую холодильную технику в условиях отсутствия R12, в ближайшей перспективе на применение этих его заменителей вполне можно ориентироваться при ее производстве для внутреннего рынка. Экспорт продукции с этими веществами в настоящий момент маловероятен.

Однако выбирать хладагент из их числа следует таким образом, чтобы принятое решение сохраняло силу в течение возможно более длительного периода. Так, нецелесообразно ориентироваться на смеси, содержащие компоненты с высоким потенциалом GWP, поскольку они в ближайшее время могут попасть под действие Киотского протокола из-за ограничения эмиссии парниковых газов. Необходимо также учитывать, что вопрос о безвредности R21 для человека в настоящее время остается открытым. Поэтому его не применяют ни в одном из смесевых хладагентов зарубежного производства.

Предпочтение необходимо отдавать тем хладагентам, по термодинамическим и теплофизическим свойствам которых есть исчерпывающие и надежные данные, что обеспечивает грамотное использование хладагентов и возможность оценки ожидаемых характеристик бытовой холодильной техники при работе на них.

С учетом этих ограничений в настоящее время из негорючих альтернативных хладагентов предпочтительной для бытовой холодильной техники, реализуемой на внутреннем рынке, представляется смесь R22/R142b.

При ориентации на реализацию выпускаемой бытовой холодильной техники на внешнем рынке основным хладагентом, принятым в большинстве стран мира, остается по-прежнему R134a. Однако надо учитывать, что тенденция ограничения применения его как парникового газа будет нарастать. В странах Западной Европы она уже отчетливо проявляется и экспорт бытовой холодильной техники, работающей на R134a, в эти страны может встретить трудности.

Прогнозирование развития сложившейся ситуации указывает на перспективность использования в бытовой холодильной технике углеводородов как экологически безопасных и эффективных хла-

дагентов, характеризующихся меньшим энергопотреблением. Безопасность этих горючих веществ при их применении в герметичных холодильных агрегатах с весьма малой зарядкой хладагента, обеспечивается надежно.

Рассмотрим основные условия использования углеводородов (и некоторых других горючих хладагентов) в бытовой холодильной технике с точки зрения следующих факторов:

- энергетическая эффективность бытового холодильника (или морозильника) в целом;
- ожидаемые изменения в конструкции холодильного агрегата (компрессора);
- требования к конструкции и технологии производства бытовой холодильной техники для обеспечения безопасности.

Результаты такого анализа могут быть использованы в качестве основы для выбора хладагента на длительную перспективу в зависимости от постановки задачи предприятиями-изготовителями бытовой холодильной техники.

В табл. 2 приведены номенклатура и базовые свойства озонобезопасных рабочих веществ, потенциально пригодных к использованию в бытовой холодильной технике. Эти вещества имеют также нулевой или близкий к нулю потенциал глобального потепления.

Таблица 2

Рабочие вещества, потенциально пригодные к использованию в бытовой холодильной технике

Обозначение по системе		Химическая формула	Массовые доли компонентов (для смесей), доли единицы	Молекулярная масса μ , г/моль	Нормальная температура кипения t_s , °C	Критическая температура $t_{кр}$, °C	Критическое давление $p_{кр}$, МПа	ODP	GWP	Токсичность*, ppm
Женевской	ИСО									
Дифтордихлорметан	R12	CF_2Cl_2	—	120,91	−29,74	112	4,119	0,9	4000	1000
—	R22/R142b	$\text{CHF}_2\text{Cl}-\text{C}_2\text{H}_5\text{F}_2\text{Cl}$	0,6/0,4 зеотропная смесь	91,587	−31,7...−21,8	—	—	0,05	1700	1000
Пропан	R290	C_3H_8	—	44,094	−42,07	96,84	4,264	0	3	1000
Пропан/бутан	R290/R600	$\text{C}_3\text{H}_8-\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,6/0,4 зеотропная смесь	49,6	−35,42...−20,26	128,3	4,78	0	3	1000
Циклопропан	RC270	C_3H_6	—	42,08	−32,80	125,12	5,579	0	0	1000
Пропан/изобутан	R290/R600a	$\text{C}_3\text{H}_8-\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,5/0,5 зеотропная смесь	51,107	−31,5...−23	110	3,9	0	3	1000
C1	R152a/R600a	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2-\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,7/0,3 азеотропная смесь	68,295	−29,5	115,4	4,71	0	98	1000
Диметиловый эфир	E170	CH_3OCH_3	—	46,07	−24,8	127,0	5,270	0	0	1000
Изобутан	R600a	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$	—	58,120	−11,73	134,98	3,647	0	3	1000
Бутан	R600	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	—	58,120	−0,50	152,01	3,796	0	3	1000

*По данным фирмы «Дюпон», величина 1000 соответствует ПДК_{р.з} = 3000 мг/м³.

Базой для сравнения свойств служат свойства R12 и переходной смеси R22/R142b (негорючей), которую можно использовать в бытовой холодильной технике в течение длительного времени.

Из номенклатуры рассматриваемых рабочих веществ (см. табл. 2) на основании проведенного анализа целесообразно исключить два вещества:

- нормальный бутан (R600) как рабочее вещество чрезмерно низкого давления, заведомо уступающее по своим свойствам изобутану (R600a);
- циклопропан (RC270) как химически нестабильное вещество [1].

Таким образом, круг рассматриваемых горючих рабочих веществ сужается до шести:

- пропан (R290), изобутан (R600a) и диметиловый эфир (E170) — простые (моно) вещества;

- азеотропная смесь C1 (R152a/R600a)¹;

- зеотропные смеси пропан/бутан (R290/R600) и пропан/изобутан (R290/R600a).

Насыщенные углеводороды R290, R600 и R600a — это компоненты природного газа и нефтяных попутных газов. В качестве хладагентов их можно применять только после очистки от примесей до степени чистоты $> 99,5\%$ [8]. Хладагент R152a — продукт химического синтеза.

Диметиловый эфир (E170) имеет химический состав, одинаковый с метиловым спиртом, и отличается от него лишь структурой молекулы. Он был применен в качестве хладагента одним из первых более 100 лет назад, а затем был вытеснен аммиаком. Основным недостатком его в тот период считалась горючесть. О горючести диметилового эфира свидетельствует то, что он может служить топливом в дизельных двигателях. На новом этапе требований, предъявляемых к хладагентам, особенно используемых в

малых герметичных агрегатах, какими являются агрегаты бытовой холодильной техники, он может найти эффективное применение. Данные о термодинамических свойствах диметилового эфира имеются в литературе [1, 5].

Выбирать хладагент из числа этих шести требуется с учетом двух основных факторов: внесения минимальных необходимых изменений в конструкцию холодильного агрегата (компрессора);

достигаемой эффективности работы бытовых холодильников (морозильников).

При этом можно считать, что изменения в конструкции и технологии изготовления бытовой холодильной техники, связанные с выполнением требований противопожарной безопасности, для всех этих веществ одинаковы.

Сделанный выбор затем должен быть подтвержден результатами теплотехнических испытаний холодильного агрегата и холодильника (морозильника) в целом, в которые должны быть внесены все изменения, обеспечивающие оптимальные условия применения данного хладагента. Внесение изменений в конструкцию, в свою очередь, может повлиять на экономические показатели производства бытовой холодильной техники, что также подлежит оценке.

Реально в бытовой холодильной технике используются только моновещество R600a и смеси C1 и R290/R600a.

О влиянии свойств сравниваемых хладагентов на энергетическую эффективность и размеры компрессора (объем цилиндра) можно судить по параметрам термодинамического цикла с изоэнтальпийным процессом сжатия, соответствующим выбранной схеме холодильного агрегата.

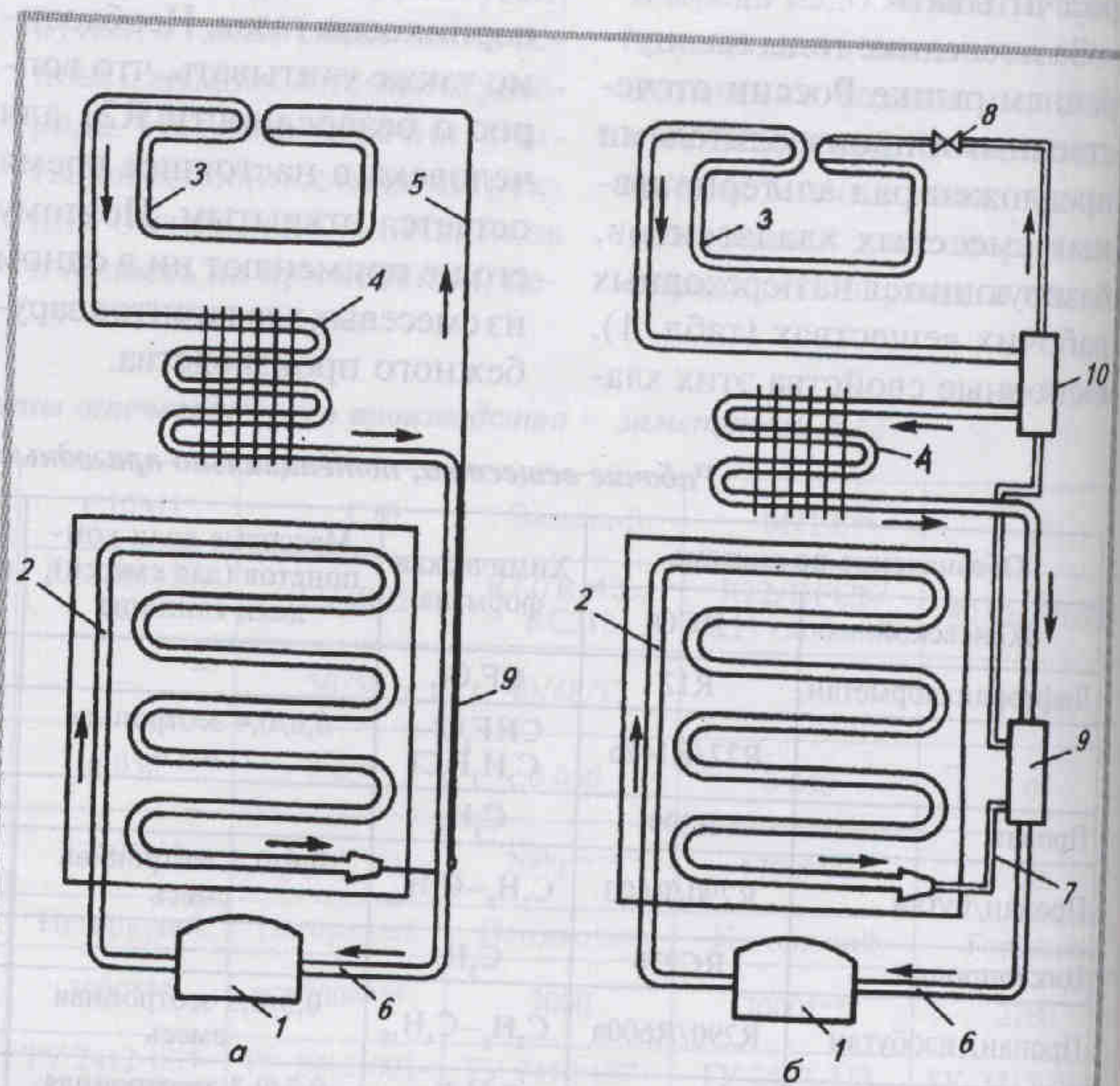
Относительные параметры (в сравнении с R12) — холодильный коэффициент ϵ , удельная объемная холодопроизводительность q_v и отношение давлений конденсации и кипения хладагента $\pi = p_k/p_0$ приведены в табл. 3. Для

всех хладагентов рассматривается обычный, применяемый в бытовой холодильной технике регенеративный цикл (T2) с теплообменом между теплой жидкостью после конденсатора и холодным паром после испарителя.

Для зеотропных смесей, кроме того, рассматривается специальный цикл (T5) [2], для реализации которого в агрегате двухкамерного холодильника предусматривается дополнительный теплообменник, расположенный между испарителями морозильной и холодильной камер (см. рисунок). Применение такой схемы дает возможность использовать особенности свойств зеотропных смесей (неизотермичность процессов кипения и конденсации) для достижения наиболее высоких показателей [2]. В качестве рабочих температур приняты: температура кипения хладагента $t_0 = -24^\circ\text{C}$, температура конденсации $t_k = 45^\circ\text{C}$. Эти температуры соответствуют условиям наиболее длительной эксплуатации бытовой холодильной техники в течение года.

Как следует из табл. 3, удельная объемная холодопроизводительность q_v горючих рабочих веществ (кроме R290 и R600a) близка к этому показателю для R12. У R600a параметр q_v ниже почти в два раза. Напротив, параметр q_v у R290 в 1,5 раза выше, чем у R12. По значению холодильного коэффициента ϵ горючие рабочие вещества (кроме R290) не уступают хладагенту R12. Наиболее высокий уровень холодильного коэффициента достигается в циклах на смеси R290/R600 (+13 и +20 %). Эти соотношения q_v и ϵ говорят о том, что при переходе на четыре горючих хладагента из шести можно использовать герметичные компрессоры для R12 без изменений объема цилиндра. При использовании R290 и R600a потребуются компрессоры «гибриды» с измененным объемом цилиндра, но с прежним электродвигателем.

Отношение давлений конденсации и кипения $\pi = p_k/p_0$ позволяет оценить и ожидаемые характеристики компрессора (рабочие коэффициенты) при работе на новых ра-



Агрегаты бытового холодильника, работающие по циклам T2 (a) и T5 (б):

1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — испаритель морозильной камеры; 4 — испаритель холодильной камеры; 5 — капиллярная трубка; 6 — всасывающий трубопровод; 7 — трубопровод жидкого хладагента; 8 — дроссельный вентиль; 9 — регенеративный теплообменник; 10 — дополнительный теплообменник

¹АО «ИНЕРТЕК». Проспект «Озоноразрушающий смесевой хладагент C1 — заменитель фреона R12».

Параметры	R12	R600a	E170	R290	C1	R22/R142b		R290/R600a		R290/R600	
Вид цикла	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T5	T2	T5	T2	T5
Холодильный коэффициент ϵ , %, по отношению к R12	100 % (2,719)	102,72	104,7	99,23	103,18	100,37	105,88	101,99	106,77	113,61	120,26
Удельная массовая холодопроизводительность q_0 , %, по отношению к R12	100 % (129,43 кДж/кг)	229,93	296,22	248,27	198,30	142,11	141,98	222,82	222,05	254,94	254,67
Удельная объемная холодопроизводительность q_v , %, по отношению к R12	100 % (817,52 кДж/м³)	51,52	91,96	149,75	101,53	100,06	111,31	93,58	95,01	95,90	106,21
Отношение давлений $p=p_k/p_0$, %, по отношению к R12	100 % (8,366)	120,22	108,67	87,49	108,31	114,62	102,33	96,02	86,77	89,88	81,41

Примечание. В скобках приведены абсолютные значения показателей для R12. Температурный режим: $t_0 = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_k = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

бочих веществах. К этим рабочим коэффициентам относятся коэффициент подачи λ и электрический КПД компрессора η_c . В первом приближении можно принять, что зависимости λ и η_c от отношения давлений остаются неизменными при работе на разных рабочих веществах. Это подтверждается нашими исследованиями. Экспериментальные характеристики компрессора C-K160 H5-2 при работе на R12 и на смеси R22/R142b близки. Из этого следует, что у хладагентов, имеющих меньшее отношение давлений в рабочем режиме (например, при $t_0 = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_k = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$), значения рабочих коэффициентов λ и η_c будут несколько более высокими. Наиболее выгодное отношение давлений реализуется при работе на смесях R290/R600 и R290/R600a.

Располагая зависимостями λ и η_c от π для данного компрессора при работе, например, на R12, можно оценить действительные характеристики агрегата и компрессора при работе на новом рабочем веществе:

- действительный холодильный коэффициент $\epsilon_d = \epsilon \eta_c$;
- необходимый объем цилиндра (м^3) для заданной холодопроизводительности Q_0 (Вт) при рабочей частоте вращения вала n (1/с) $V_n = Q_0 / (\eta_c \lambda)$.

При рассмотрении возможности использования изобутана необходимо учитывать, что его рабочее давление кипения ниже атмосферного

(нормальная температура кипения значительно выше рабочей). Это может отрицательно повлиять на потери во всасывающем тракте (в том числе в клапане). Потребуется конструктивная доработка компрессора для достижения достаточно высокого КПД (η_c).

В отличие от многих других синтетических заменителей R12 использование рассматриваемых горючих веществ не связано с необходимостью замены применяемого минерального масла.

Согласно [6] все рассматриваемые вещества сочетаются с обычно используемыми поглотителями (осушителями).

В первом приближении можно принять, что дозы заправки разных хладагентов в конкретные холодильники одинаковы по объему. Тогда дозы заправки по массе будут обратно пропорциональны плотности жидкого хладагента при одинаковой температуре. Как видно из табл. 4, массовая доза заправки для всех рассматриваемых хладагентов будет меньше, чем для R12, и составляет 40–50 % от нее, т.е. не более 60 г.

В первом приближении можно также принять, что длина капилляра пропорциональна комплексу $[(p_k - p_0) \rho q_0^2]$. При использовании рассматриваемых горючих заменителей R12 может потребоваться некоторое увеличение длины капилляра. Однако следует иметь в виду, что для любого нового хладагента необходимо экспериментально подбирать длину капиллярной труб-

ки и дозу заправки по специальной методике.

Для всех анализируемых веществ и компонентов смесей пороговый предел токсичности находится на уровне токсичности всех широко используемых хладагентов.

Рассматриваемые горючие рабочие вещества инертны к конструкционным материалам (металлам, уплотнителям, изоляционным материалам обмоток электродвигателя), применяемым в современных холодильных агрегатах бытовой холодильной техники и компрессорах для них [7].

На бытовую холодильную технику, работающую на горючих хладагентах, распространяются дополнительные требования к ее конструкции и методам испытаний. Эти требования установлены последней редакцией европейского стандарта EN 60 335-2-24–2000, которая сейчас готовится к внедрению в России «методом обложки».

Наиболее существенные требования к исполнению и испытаниям бытовой холодильной техники на горючих хладагентах сводятся к следующему.

В сопроводительной документации (таблицы, руководство по эксплуатации и др.) должны содержаться сведения об использовании в изделиях горючего вещества и исчерпывающая информация о правилах безопасной эксплуатации, ремонта и ликвидации изделия.

Элементы холодильной системы подвергают испытани-

ям на прочность, создавая повышенное внутреннее давление:

3,5-кратное давление насыщения хладагента (абсолютное) при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ для стороны высокого давления холодильной системы;

5-кратное давление насыщения хладагента (абсолютное) при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для стороны низкого давления холодильной системы.

Бытовая холодильная техника с пароконденсационными холодильными системами (агрегатами), содержащими горючий хладагент, должна иметь такую конструкцию, чтобы при его утечке из системы в зонах размещения электрических узлов, где может возникнуть воспламенение, не было условий для создания взрывоопасной концентрации.

Рассматриваются два возможных исполнения бытовой холодильной техники:

- с защищенной системой охлаждения (ЗСО), когда конструкция и размещение элементов системы охлаждения (испарителей, трубопроводов и др.) исключают возможность утечки хладагента в охлаждаемую емкость холодильника;

- с незащищенной системой охлаждения (НСО), когда элементы системы охлаждения размещены в охлаждаемой емкости, не имеют дополнительных защитных устройств и поэтому утечка хладагента в эту емкость возможна.

Источниками воспламенения являются элементы, располагаемые:

Эксплуатационные свойства рабочих веществ

Таблица 4

Параметры	R12	R600a	E170	R290	C1	R22/R142b	R290/R600a	R290/R600
Плотность жидкости при 25 °C: по отношению к R12, %	100 1309	42,08 550,83	—	37,75 494,13	49,92 653,41	87,06 1139,66	—	41,01 536,85
Давление насыщения при 55 °C: по отношению к R12, %	100 13,6	56,69 7,71	101,47 13,8	141,40 19,231	106,16 14,438	105,82 14,392	106,16 14,438	86,63 11,782
Предел горючести, об. %	Негорюч	1,7	3,3	2,1	3,15	Негорюч	1,9	1,9
Температура воспламенения, °C	—	460	*	470	450...520	*	460	*
Разность давлений при $t_0 = -24\text{ °C}$, $t_k = 45\text{ °C}$, $\Delta p = p_k - p_0$	100 % 10 ⁵ Па	57,57	93,60	140,01	105,96	106,05	104,56	90,23
Смазочное масло	Минеральное	Минеральное, синтетическое	Минеральное, синтетическое	Минеральное, синтетическое	Минеральное, синтетическое	Минеральное	Минеральное	Минеральное

*Данные отсутствуют или уточняются.

- вне охлаждаемой емкости: пусковое реле компрессора, защитное тепловое реле компрессора, пусковые и рабочие конденсаторы компрессора, выключатели, электрические соединения;

- в охлаждаемой емкости: термостат, лампа освещения, выключатель света, нагреватели размораживания и элементы их включения, электродвигатель вентилятора, электрические соединения.

Безопасность бытовой холодильной техники с горючим хладагентом обеспечивается, если все указанные элементы имеют герметичное исполнение в соответствии со стандартом IEC 79-15. Допускается также доработка обычных приборов до требований стандарта.

Для бытовой холодильной техники с защищенной системой охлаждения герметичного исполнения приборов, располагаемых в охлаждаемой емкости, не требуется.

В случае использования электрических узлов (приборов), способных вызвать воспламенение (располагаемых вне охлаждаемой емкости), образцы бытовой холодильной техники подвергают испытаниям на отсутствие взрывоопасной концентрации хладагента в зоне этих узлов. Испытания проводят по регламентированной стандартом методике.

При модернизации бытовой холодильной техники для работы на горючих хладагентах возможны следующие варианты устранения источников воспламенения:

- замена обычного электрического компонента герметичным (в соответствии с IEC 79-15) или полупроводниковым прибором;

- размещение электрических компонентов в герметичном корпусе или перенос их в безопасную зону.

Для нагревателей оттаивания устанавливаются предельную температуру поверхности нагрева на 100 °C ниже температуры воспламенения хладагента.

Холодильные системы бытовой холодильной техники с горючими хладагентами должны быть защищены от электрохимической коррозии. Это достигается выбором пар контактирующих конструктивных материалов с электрохимическим потенциалом ниже 0,6.

При переходе на горючие хладагенты вносят изменения не только в конструкцию изделий, но и в организацию участка заправки агрегатов, где должны соблюдаться необходимые меры противопожарной безопасности. По данным [7], участок заправки должен быть в максимально возможной степени изолирован, удален от места хранения хладагента, а также от участков с огневыми работами (сварка, пайка), иметь эффективную вытяжную вентиляцию. В зоне участка должно храниться минимальное количество хладагента. Участок должен быть снабжен огнетушителем и аварийным индикатором концентрации газа.

Указывается [7], что можно применять заправочное оборудование (в основном электроприборы), используемое при заправке R12, после его доработки.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

- Переход в бытовой холодильной технике к экологически безопасным горючим хладагентам представляется в перспективе весьма вероятным.

- Применение этих хладагентов позволяет достигнуть высокой энергетической эффективности бытовой холодильной техники.

- Выполнение требований безопасности в конструкциях холодильников (морозильников) для работы на горючих рабочих веществах технически вполне реально.

- Использование пропана (R290) нецелесообразно из-за чрезмерно высокого давления конденсации.

- Для перехода на горючие рабочие вещества в ближайшие годы предпочтительно использовать уже известные в мировом производстве бытовой холодильной техники изобутан (R600a) и смеси хладагента R290/R600a.

- При ориентации на переход в более отдаленное время целесообразно провести опытно-конструкторские работы и сравнительные испытания бытовой холодильной техники на разных хладагентах для принятия всесторонне обоснованного решения по выбору хладагента и схемы агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диметиловый эфир – топливо и хладагент для дизельных авторефрижераторов/ В.Н.Богаченко, С.Д.Глухов, А.А.Жердев, А.В.Поляков//Вестник МГТУ. Специальный выпуск. Серия «Машиностроение», 2000.
2. Калнинь И.М., Фадеков К.Н. Эффективность применения зеотропных смесевых хладагентов в бытовых холодильниках // Холодильная техника. 1999. № 8.
3. Переход на озонобезопасные хладагенты в условиях России/И.М.Калнинь, В.В.Катерухин, И.К.Савицкий, В.И.Смыслов//Холодильная техника. 1997. № 1.
4. Промышленные фторорганические продукты: Справ. изд./Б.Н.Максимов, В.Г.Барбанов, И.Л.Серушкин и др. – СПб.: Химия, 1999.
5. Холодильная техника. Энциклопедический справочник. Т.1. – М.: Госторгиздат. 1960.
6. ЮНЕП. Оценка использования воспламеняемых хладагентов. / Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Ч.3 отчета ГТЭО. Т. 2, 1997.
7. Manual for the safe design, manufacturing and drop-in conversion of commercial and domestic refrigeration appliance «Refrigeration appliances using hydrocarbon refrigerants» / An ECOFRIG publication / «Cool Concerns», United Kingdom of Great Britain; Indian Institute of Technology, India; «INFRAS», Switzerland / August 1997.
8. W.Keith Snelson Study on the potential for hydrocarbon replacements in existing domestic and small commercial refrigeration appliances/ Synthesis Report/United Nations Environment Programme/Division of Technology, Industry and Economics/Energy and Ozon-Action Unit/OzonAction Programme. January 1999.
9. 11-th Informatory Note CFCs, HCFCs and Refrigeration: Int. Inst. of Refrigeration. – Paris, France. 1995.