

УДК697.7

АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ВОЗДУШНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ

С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, И.А. Зайцева

Ивановский государственный политехнический университет

Проблеме выбора экологически безопасных хладагентов для систем теплоснабжения уделяется особое внимание. Использование фреонов в последние годы связано с различными ограничениями, введенными международными соглашениями, например, Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой и Киотским протоколом по веществам, влияющим на глобальное потепление. В статье представлена классификация экологической безопасности фреонов, основанная на показателях, имеющих исключительную значимость для окружающей среды и безопасной эксплуатации теплохолодильных установок: показатели токсичности, пожаро-взрывоопасности, озонобезопасности, потенциал глобального потепления и безвредности для человека. Представленные в статье результаты классификации экологической безопасности и безвредности фреонов могут быть использованы при разработке новых хладагентов и их регистрации в соответствии с официальной международной классификацией хладагентов для присвоения последнему номеру. С помощью композиционной инфографической модели экологической безопасности хладагентов, применяемых в ВТН для систем отопления, проведен анализ ряда фреонов, который позволил провести ранжирование хладагентов по величине интегрального показателя и установить наиболее экологически безопасный из них.

Ключевые слова: хладагент, фреон, экологическая безопасность, тепловой насос, система отопления.

В современных условиях поиска и применения возобновляемых источников энергии для теплоснабжения зданий особую актуальность приобретают вопросы повышения энергетической эффективности работы воздушных тепловых насосов (ВТН) в системах отопления зданий, рабочей жидкостью которых является хладагент (фреон).

Особенностью фреона является его способность закипать при низких температурах и переходить из жидкого состояния в газообразное, и наоборот. Во время фазового перехода из жидкого состояния в газообразное (испарение) происходит поглощение теплоты, а во время фазового перехода из газообразного в жидкое (конденсация) происходит передача теплоты. Эти физико-химические явления основаны на принципах тепло-, массо-, воздухообменных неравновесных процессов фреонового контура, что обусловлено свойствами его термодинамической активности. Благодаря этому фрео-

ны приобретают широкую популярность применения в промышленности.

Однако главной и актуальной проблемой при использовании фреонов являются вопросы их экологической безопасности и безвредности при эксплуатации. Технические разработки в настоящее время сосредоточены на том, чтобы переходить к озонобезопасным хладагентам при одновременном повышении энергоэффективности систем.

На сегодняшний день информация о фреонах представлена в следующих отечественных и международных нормативных документах:

- ГОСТ 12.1.00588 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»,

- ГОСТ Р 12.2.142-99 «Система стандартов безопасности труда. Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности»,

- ПБ 09-592-03 (Россия) – Правила устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем,

- СНИП 41-01-2003 (Россия) «Отопление, вентиляция и кондиционирование»,

- ИСО5149-93 «Холодильные системы, используемые для охлаждения и нагрева. Требования безопасности»,

- ГОСТ 29265-91 (ИСО 817-74) «Хладагенты органические (Хладоны). Цифровые обозначения»,

- ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 (USA) «Safety Standard for Refrigeration Systems»,

- EN 378:2000 EUROPEAN STANDARD «Refrigeration systems and heat pumps – Safety and environmental requirements».

Фреоны, хладоны, галогеноалканы – техническое название группы фтор- и хлорсодержащих производных насыщенных углеводородов (метана и этана). В молекулах этих соединений несколько атомов водорода замещены на атомы фтора, хлора или, что реже, брома. Свойства хладагентов зависят не только от структуры молекулы газа (соотношения в молекуле фтора, хлора и водорода), но и соотношения газов, из которых он состоит.

Для создания хладагента существуют следующие критерии выбора соединений: большое количество атомов фтора (такие соединения менее токсичны и проявляют слабую химическую активность по отношению к металлам); малое количество атомов водорода (чем оно меньше, тем ниже воспламеняемость).

Фреоны – бесцветные газы или жидкости без запаха, обладают уникальными свойствами. Хорошо растворимы в неполярных органических растворителях, растворяют масло, но нерастворимы в воде и полярных растворителях, не проводят электрический ток. Устойчивы к действию кислот и щелочей.

Фреоны очень инертны в химическом отношении, поэтому они не горят на воздухе, невзрывоопасны даже при контакте с открытым пламенем. Далеко не все соединения галогенов и углерода (без водорода) горючи, но при взаимодействии с воздухом и нагревании свыше 250 °С они образуют весьма ядовитые продукты, например фосген COCl_2 .

Широкое использование фреонов привело к тому, что многие считают слова хладагент и фреон – синонимами. Однако не всякий хладагент – фреон, также фреоны применяются не только в качестве хладагентов.

В соответствии с ГОСТом Р 12.2.142-99 «Холодильный агент (хладагент) – используемая в холодильной системе рабочая среда, которая поглощает теплоту при низких значениях температуры и давления и выделяет теплоту при более высоких значениях температуры и давления. Этот процесс сопровождается изменением агрегатного состояния рабочей среды».

В качестве хладагентов используют вещества, обладающие особыми термодинамическими, физико-химическими и физиологическими свойствами, которые должны обеспечивать безопасную и экономичную (с малыми энергозатратами) эксплуатацию холодильной машины.

Сегодня много компаний производят различные хладагенты. Но наибольшее распространение получили около 50 видов хладагента. Для технического определения хладагента используется буквенный символ R (от англ. Refrigerant – охладитель) и цифровое обозначение. Система R-нумерации была разработана компанией DuPont. Ее полное описание можно найти в стандарте ISO/CD 817:2007. Принципы же ее таковы:

- первая цифра справа – это число атомов фтора в соединении;
- вторая цифра справа – это число атомов водорода в соединении плюс единица (для соединений метанового ря-

да ноль в аббревиатуре не проставляется);

- третья цифра справа – это число атомов углерода в соединении минус единица (для соединений метанового ряда ноль опускается);

- число атомов хлора в соединении находят вычитанием суммарного числа атомов фтора и водорода из общего числа атомов, которые могут соединяться с атомами углерода (валентность С принимается равной четырем);

- для циклических производных в начале определяющего номера ставится буква С;

- в случае, когда на месте хлора находится бром, в конце определяющего номера ставится буква В и цифра, показывающая число атомов брома в молекуле;

- в случае, когда на месте хлора находится йод, в конце определяющего номера ставится буква I и цифра, показывающая число атомов йода в молекуле.

Хладагент должен удовлетворять рядутребований, которые можно разделить на группы:

- термодинамические (высокие холодопроизводительность, теплопроводность и теплопередача);

- физико-химические (низкая коррозионная активность и негорючесть);

- физиологические (безвредность для человека);

- экономические (низкая стоимость, доступность и распространенность);

- экологические (озонобезопасность и низкий потенциал глобального потепления) [7].

Все эти требования удовлетворить невозможно, т.е. не существует идеального хладагента. Поэтому при выборе хладагента желательно учитывать все их качества и факторы, характеризующие установку и условия ее работы. В настоящее время значительно обострился интерес к безопасности фреонов. А если

учесть, что фреоны в качестве хладагентов применяются в большинстве типов систем кондиционирования, теплоснабжения, то вопрос о безопасности применения фреонов всегда был и остается очень важным.

Так, например, исключительную значимость для окружающей среды и безопасной эксплуатации теплохолодильных установок имеют показатели токсичности, пожаро-взрывоопасности, озонобезопасности, потенциал глобального потепления и безвредности для человека. Авторы предлагают рассмотреть классификации экологической безопасности фреонов, основанные на данных показателях.

Согласно международным стандартам ISO/CD 817:2007 «Хладагенты – обозначение и классификация безопасности» и ANSI/ASHRAE 34-2007 «Обозначение и классификация безопасности хладагентов» хладагенты классифицируют по сериям следующим образом:

А. Предельные углеводороды и их галогенные производные:

1. Хладагенты ряда метана, бутановая серии (ряд)- R10 до R50,

2. Хладагенты ряда этана - R110 до R170

3. Хладагенты ряда пропана - R216са до R290

В. Непредельные углеводороды и их галогенные производные

3. Циклические органические составные соединения R316 до R318

4. Неазеотропные смесевые хладагенты серии R400 до R411В – вещества, жидкая и газовая фаза которых в состоянии термодинамического равновесия имеют разный состав. Иными словами, при одном и том же давлении кипения, температура кипения имеет разные значения.

5. Азеотропные смесевые хладагенты серии R500 до R509 – вещества, состав газовой и жидкой фаз которых оди-

наков, то есть они ведут себя как моновещество.

6. Органические соединения серии:

- Смешанные составные органические соединения R600 до R620.

- Азотные соединения R630 до R631.

- Ненасыщенные органические соединения R1112a до R1270.

7. Неорганические соединения серии R702 до R764.

Для оценки экологической безопасности фреонов используют два критерия:

- озоноразрушающий потенциал (ОРП, ODP – OzoneDepletionPotential). Озоноразрушающую активность определяют наличием атомов хлора в молекуле;

- потенциал глобального потепления (ПГП, GWP – GlobalWarmingPotential). Парниковая активность фреонов в зависимости от марки варьируется в пределах от 1300 до 8500 раз, что выше, чем у углекислого газа при одинаковых объемах.

По степени озоноразрушающей активности хладагенты делят на три группы (табл. 1):

Таблица 1

Классификация хладагентов по влиянию на озоновый слой атмосферы

Группа	Класс соединений (международная классификация)	Значение ODP (ОРП)	Воздействие на озоновый слой
1	2	3	4
А	Хлорфторуглероды (ХФУ, HCFC, CFC)	ODP > 1 ODP : 0.6 - 1.0	Химический состав фреона с высоким содержанием хлора и брома Вызывают серьезное истощение озонового слоя, применение запрещено Монреальским протоколом
	Бромфторуглероды		
В	Хлорфторуглеводороды (ГХФУ, HCFC)	ODP < 0,1 ODP : 0.05	Химический состав фреона с низким содержанием хлора и водорода Вызывают слабое истощение озонового слоя, применение ограничено Монреальским протоколом
С	Гидрофторуглеводороды (ГФУ, HFC)	ODP = 0	Хладагенты, не содержащие атомов хлора Озонобезопасные фреоны, не попадают под Монреальский протокол

Для замены фреонов класса хлорфторуглеводородов (HCFC) или гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) разработаны фреоновые смеси.

Согласно ГОСТ Р 12.2.142-99 «Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3 кВт», хладагенты разделяются на следующие группы по степени токсичности:

- невоспламеняющиеся нетоксичные холодильные агенты;

- токсичные и вызывающие коррозию холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (или нижняя граница взрыва) составляет более 3,5% по объему в смеси с воздухом;

- холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (нижняя граница взрыва) ниже 3,5% по объему в смеси с воздухом.

Согласно ГОСТ EN 378-1-2014[3] в зависимости от уровня допустимой

концентрации при длительном воздействии хладагенты относят к одной из двух групп:

Группа А- низкая токсичность;

Группа В- высокая токсичность.

По воспламеняемости хладагенты относят к одному из трех классов:

Класс 1 - негорючие хладагенты.

Класс 2 - трудно горючие хладагенты.

Класс 3 - горючие хладагенты.

Группы токсичности и классы горючести хладагентов, описанные выше образуют шесть групп опасности (А1, А2, А3, В1, В2, и В3) веществ, используемых в качестве хладагентов, и могут быть представлены в виде матрицы (табл. 2).

Таблица 2

Система классификации хладагентов по группам опасности

Токсичность (А, В)	Горючесть / воспламеняемость (1, 2, 3)		
	негорючий(NF)	слабо горючий(LF)	горючий(F)
Низкая	А1	А2	А3
Высокая	В1	В2	В3

Примечание: В столбце «горючесть» NF означает Nonflammable, то есть негорючий, LF – lowflammable, то есть слабогорючий, F – flammable, т.е. горючий.

Группу опасности хладагента обозначают буквенно-цифровым символом (например, А2 или В1). Заглавная буква указывает на уровень токсичности, арабская цифра указывает на воспламеняемость (горючесть) хладагента.

ГОСТом 12.1.00588 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» фреоны относятся к веществам IV класса опасности. К этому классу отнесены малоопасные вещества (самые опасные вещества относятся к первому классу опасности).

Группа физиологических требований, характеризующих безвредность для человека, может быть представлена следующими показателями:

ППНЧ – Практический предел концентрации хладагента при нахождении человека в помещении. Определяют как предельную концентрацию хладагента в помещении, не приводящую к вредным воздействиям на человека и не требующую срочных мер по эвакуации в случае непреднамеренной разгерметизации холодильного контура и попадания

всего количества хладагента в атмосферу помещения. Этот показатель используют при определении максимально допустимой величины заправки контура данным хладагентом для конкретного применения;

ПДК / ПНК – Предельно допустимая концентрация токсического воздействия или значение концентрации, приводящее к нехватке кислорода. ПДК – предельно допустимая концентрация хладагента в воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$), которая при длительном воздействии в рабочее время в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний и отклонений в состоянии здоровья человека. ПДК устанавливает Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации.

К наиболее известным в настоящее время и распространённым рабочим жидкостям, применяемым в тепловых насосах для обогрева при строительстве небольших производственных и жилых помещений, относятся следующие: R134, R404, R410, R507 и ряд др. (табл. 3) [1].

Таблица 3

Показатели экологической безопасности фреонов

R	Химическое название	Химическая формула	Группа опасности	ППНЧ, кг/м ³	ПДК/ПН К, мкг/м ³	ОРП (OD)	ППП (GWP)(за период 100 лет)
Этановая серия							
134A	1,1,1,2-тетрафторэтан	CH ₂ FCF ₃	A1	0,25	0,21	0	1300
142B	1-хлор-1,1-дифторэтан	CH ₃ CClF ₂	A2	0,066	0,103	0,065	2400
143A	1,1,1 – трифторэтан	CH ₃ CHF ₂	A2	0,027	0,14	0	4470
Зеотропные смесевые хладагенты серии R400							
	Состав, % по массе						
402A	R-125/290/22 (60/2/38)		A1	0,33	0,275	0,021	2690
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)		A1	0,52	0,52	0	3780
407A	R-32/125/134a (20/40/40)		A1	0,33	0,288	0	1990
407C	R-32/125/134a (23/25/52)		A1	0,31	0,268	0	1650
410A	R-32/125 (50/50)		A1	0,44	0,387	0	1980
Азеотропные смесевые хладагенты серии R500							
502	R-22/115 (48,8/51,2)		A1	0,45	0,334	0,33	4510
507A	R-143A/125		A1	0,53	0,526	0	3850

Примечания: Значения ПДК/ПНК изменены по отношению к стандарту EN 378-1:2008. Данные взяты в ISO 817.

Рассматривая материалы проведенных исследований была предложена номенклатура новых хладагентов. Так фреон R404A состоит из смеси R125, R143a. R134a явился альтернативой R22 и имеет повышенные характеристики тепло-, холодопроизводительности. Гидрофторхлоруглероды R134A, R142B, R143A менее опасны, потому что наличие в молекуле атома водорода существенно снижает срок жизни соединения в атмосфере.

Фреон R407C не разрушает озоновый слой, что очень хорошо, но его свойства далеки от совершенства. Фреон R410A также озонобезопасен, но рабочие давления, возникающие в системе холодильной машины кондиционера, требуют увеличения прочности применяемых материалов, разработки и внедрения новых компрессоров. Да и цена новых фреонов

пока достаточно высока примерно в 5-6 раз выше обычного фреона.

С другой стороны показательны основные преимущества и недостатки современного хладагента R410, который относится к группе специфических гидрофторуглеродов. Его состав рассматривается всемирными организациями как озонобезопасный. Хладагент R410a представляет собой двойную азеотропную смесь гидрофторуглеродов R32 и R125 при равных массовых долях компонентов (50% и 50 %). На данный момент это наиболее часто применяемый хладон в новых системах мобильного и стационарного бытового охлаждения. R410A является смесью, близкой к азеотропной. Основным недостатком неазеотропных смесей - это температурное скольжение, т.е. изменение температуры кипения в процессе испарения и конденсации (т.е.

фазового перехода - перехода хладагента из жидкого состояние в газообразное и обратно). Однако у хладагента R-410A температурное скольжение настолько мало (0,15 К), что им можно пренебречь и считать смесь азеотропной, т.е. оба компонента в момент фазового перехода ведут себя (почти) идентично - одновременно вскипают либо одновременно конденсируются.

Широкое применение фреона R410A значимо тем, что он обладает многими преимуществами:

1. В случае поломки сосуда его можно легко восполнить без потери качества самого хладагента.

2. У инженеров - технологов - производителей появляется возможность уменьшения энергопотребления создаваемой техники.

3. Нет необходимости устанавливать мощный, дорогостоящий компрессор, так как в этом случае теплообменник обладает более высоким уровнем тепло-, холодопроизводительности, что позволяет рационально подбирать по мощности компрессор.

4. Фреон R410A, обладая низкой вязкостью и хорошей теплопроводностью, более эффективен при работе теплонасосной системы.

Дополнительно к недостаткам можно отнести следующие явления:

1. Из-за некоторой разности давления по отношению к нагнетанию и всасыванию фреона уровень КПД (COP) компрессора может быть несколько снижен.

2. Отмечен быстрый износ подшипников, который обусловлен высоким рабочим давлением в системе.

3. Корпус теплохолодильного агрегата технически должен обладать повышенной герметичностью. Итоговая толщина стенок медных труб рабочей магистралей должна быть более высокой.

Теплофизические, коррозионные, термические и биологические свойства

новых ГФУ и их смесей практически неизвестны. Вся информация носит рекламный характер от фирмы-производителя.

Оценивая показатели экологической безопасности анализируемых хладагентов, отобранные, приоритетные показатели были составлены в один обобщающий (интегральный) показатель, по значению которого появляется возможность судить об экологической безопасности хладагентов.

Для этого рассматриваем наибольшие и наилучшие значения по показателям, представленным в табл.3.

Реализуя эти данные строим площадную диаграмму (рис.1). Отраженная на диаграмме (рис. 1) информационная композиция позволяет показать позицию “идеального” хладагента. Она характеризуется “веревочным” многоугольником, соответствующим принятым в нашем случае наилучшим значениям показателей на каждом луче диаграммы.

Площадь фигуры, обобщенно ограниченной многоугольником, отражает достоинства рассматриваемых хладагентов. Чем она больше, тем лучше подходит хладагент для ВТН используемого в системе отопления.

Замер площадей по построенной диаграмме и соотношение площадей, соответствующих каждому хладагенту, с площадью “идеального” хладагента, позволяет оценить конкретный эффективный уровень каждого из хладагентов.

Для наглядности проанализируем и проранжируем хладагенты в порядке уменьшения значений интегрального показателя экологической безопасности (рис. 2). Ранжирование хладагентов позволило установить, что наиболее экологически безопасным для теплового насоса является фреон R-134A.

Однако экологические и химические свойства фреонов – не единственные их характеристики.

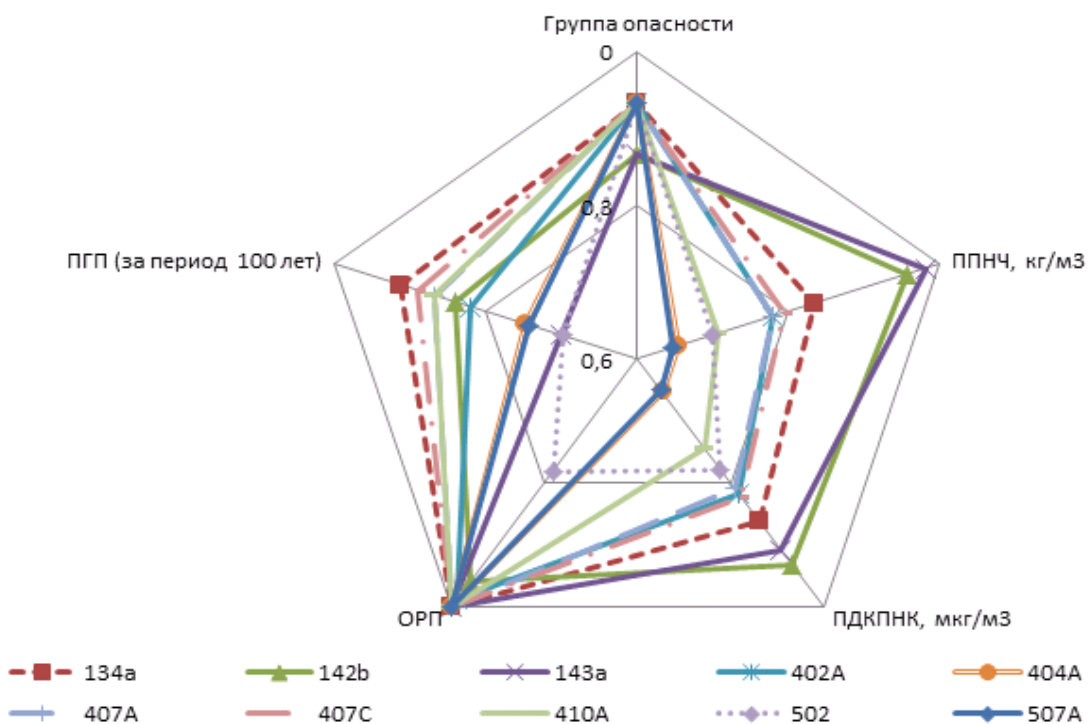


Рис. 1. Композиционная инфографическая модель экологической безопасности хладагентов ВТН для систем отопления

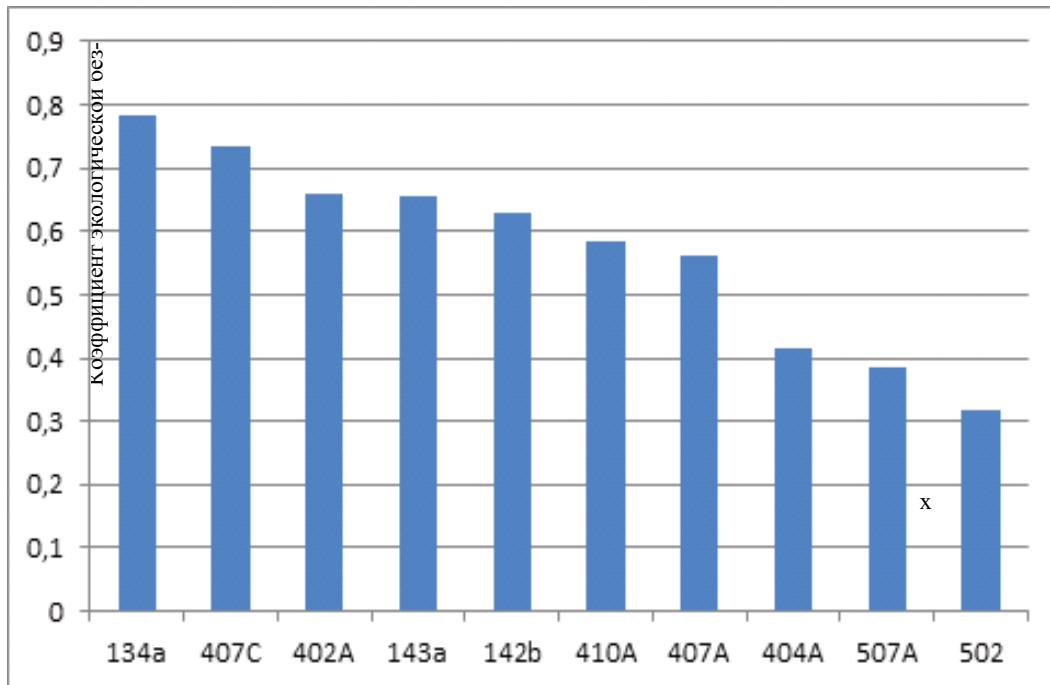


Рис. 2. Ранги анализируемых хладагентов по уровню экологической безопасности

Важны и их физические свойства: температура кипения, критические температура и давление и другие. Именно эти свойства определяют, подойдет хладагент для решения конкретной задачи или нет. Главным критерием при выборе заменителей ОРВ является близость физико-химических и эксплуатационных свойств к аналогичным характеристикам заменяемых ОРВ.

В исследовании [1] авторами сделан вывод, что фреон R134 наиболее близок к значению идеального интегрального показателя по уровню термодинамической активности фреонов (ТДАФ), а также его экологической безопасности, энергетической эффективности и стоимости. ТДАФ – это интегральный показатель, объединяющий в себе следующие показатели: «относительная молекулярная масса», «коэффициент энергоэффективности», «теплота парообразования», «давление», «объем фреона», «работа компрессора».

Несмотря на разные перспективы, требования к хладагентам и рабочим телам энергетических циклов довольно близки, если соблюдать отечественные законы. Рабочие тела энергетических машин и бытовых холодильников должны быть:

- безопасными по Конституционным требованиям России;
- безопасными по Трудовому праву и Санитарным нормам России;
- энергоэффективными, коррозионнопассивными, стабильными при многократно повторяющихся циклах сжатия в компрессорах;
- иметь диапазон температуры кипения: для кондиционеров (-10...+30°C), среднего (-20...-30°C) и низкого уровня холода (-40...-50°C);
- для крупных полугерметичных машин должны быть недорогие моно вещества или азеотропные смеси;
- совместимыми с недорогими минеральными маслами;

- термостабильными на уровне не менее 200°C для холодильных машин, кондиционеров и ГеоТЭС; 500-650°C для альтернативной энергетики и для АЭС;

- должны производиться в России по отечественным ГОСТам, соответствовать ТУ и быть на отечественном рынке по доступной цене.

Перечисленные требования являются основой для формирования Технического задания на использование рабочего тела в агрегате или цикле. Они подробно изложены как в отечественных, так и в зарубежных научных публикациях¹ [4, 5]. В условиях разработки конкретного рабочего проекта диапазон требований к рабочему телу расширяется на порядок, поскольку конкретные условия эксплуатации, отражаемые в Техническом задании, могут иметь непредсказуемый диапазон.

Хладагент, являющийся рабочим телом ТНУ, выбирается разработчиками систем кондиционирования с учетом большого числа факторов: высокой эффективности работы оборудования, низкой стоимости, пожаробезопасности и токсичности. Требования к холодильным агентам постоянно пополняются и конкретизируются. Основными факторами, определяющими выбор хладагента, безусловно, являются его термодинамические и теплофизические характеристики. Они влияют на эффективность, эксплуатационные показатели и конструктивные характеристики оборудования.

Сегодня в мире намечается тенденция активного использования хладагентов четвертого поколения, имеющих высокую термодинамическую эффективность, не влияющих на озоновый слой и оказывающих минимальное воздействие на глобальное потепление [4].

В последние 10-15 лет активно идет поиск смесей, не имеющих в составе

¹Перельштейн, Парушин 1984; Хейвуд 1979.

атомы ни хлора Cl, ни фтора F. К безопасным природным фреонам относятся бутан, изобутан, углекислый газ и аммиак. Но самым безопасным и перспективным является пропан (R290). Он не оказывает разрушающего воздействия на озоновый слой и имеет очень низкий потенциал влияния на глобальное потепление. Характеристики этого газа почти не отличаются от фреона R22. Примером таких, чисто коммерческих, фреонов является азеотропный хладагент MCOOL 22. В настоящем и будущем развитие и поиск экологически чистых рабочих жидкостей для воздушных тепловых насосов будет заключаться в технической модернизации фреонового контура, высокой надежности и усовершенствовании самих воздушных тепловых насосов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Острыякова Ю.Е. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 179-184.

2. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса / сб. науч. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. 2015. С. 241-251.

3. Межгосударственный стандарт ГОСТ EN 378-1-2014. Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора. (EN 378-1:2008+A2:2012, IDT). Издание официальное. Москва, Стандартинформ, 2014.

4. Харитонов Б. П. Безопасность фреонов // АВОК. №2, 2009. С. 44-46.

5. МакеВ., ЭккерТГ.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Учебник по холодильной технике. Перевод с французского д-р технических наук В. Б. Сапожников. М., 1998. – 1142 с.

ANALYSIS AND SELECTION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS FOR AIR HEAT PUMP HEATING SYSTEMS

S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, I. A. Zaitseva

The issue of the selection of environmentally sound refrigerants for heating systems has been given particular attention. The use of freons in recent years has been linked to various restrictions imposed by international agreements, such as the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer and the Kyoto Protocol on Substances Affecting Global Warming. The article presents the classification of environmental safety of freons, based on indicators of exceptional importance for the environment and safe operation of heat-cooling plants: indicators of toxicity, fire-explosion hazard, ozone safety, global warming potential and safety for humans. The results of the classification of environmental safety and safety of freons presented in the article can be used in the development of new refrigerants and their registration in accordance with the official international classification of refrigerants for assignment to the latter number. Using the composite infographic model of environmental safety of refrigerants used in heat pump for heating systems, a number of freons were analyzed, which allowed to rank refrigerants by the value of integral indicator and to establish the most environmentally friendly of them.

Keywords: coolant, freon, environmental safety, heat pump, heating system

References

1. Aloyan R. M., Fedoseev V. N., Petrukhin A. B., Zaitseva I. A., Vinogradova N. V., Ostryakova Yu. E. Efficiency of heating by a heat pump of Autonomous textile productions depending on the level of thermodynamic activity of freons // Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry. 2017. # 1. Pp. 179-184.

2. Voronov V. A., Emelin V. A., Fedoseev V. N., Zaitseva I. A. Climatic conditions and factors affecting the performance of an air heat pump / SB. nauch. tr.: Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions. 2015. Pp. 241-251.

3. Interstate standard GOST EN 378-1-2014. Refrigeration and heat pump systems. Safety and environmental requirements. Part 1. Basic requirements, definitions, classification, and selection criteria. (EN 378-1:2008+A2:2012, IDT). Official publication. Moscow, Standardinform, 2014.

4. Kharitonov B. P. Safety of freons // AVOK. No. 2, 2009. Pp. 44-46.

5. Makes. That eckerth.-Yu., Cospan J. L. a Textbook on refrigeration equipment. Translated from the French by V. B. Sapozhnikov, doctor of technical Sciences. Moscow, 1998. - 1142 p.