

УДК 621.564; 62.974;62-713.3

Исследование характеристик двухкаскадной холодильной машины на смесевом хладагенте нового типа

Баркина Е.А., студент

*кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы
кондиционирования и жизнеобеспечения»*

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Лавров Н.А., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
crio@power.bmstu.ru*

В 1989 года вступил в силу Монреальский протокол об охране озонового слоя, разработанный с целью защиты с помощью снятия с производства некоторых химических веществ, которые разрушают озоновый слой. На первом этапе реализации протокола были выведены из обращения хладагенты, озоноразрушающий потенциал которых (ОРП) превосходил 0,1. На втором этапе, который заканчивается в 2020 году, из обращения будут выведены хладагенты с ОРП $< 0,1$, то есть такие хладагенты, как R22, R21, R141b, R123, R142b, причем сокращение потребления этих озоноразрушающих веществ (ОРВ) должно быть завершено на 90 % к 2015 году. На смену ОРВ пришли хладагенты R134a, R404a, R23, R125, R32, R143a и смеси на их основе. Эти вещества имеют низкий показатель ОРП, но они являются парниковыми газами, а согласно Киотскому протоколу, принятому в 1997 году, развитые страны или страны с переходной экономикой обязаны сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов. На смену этим хладагентам должны быть разработаны новые, с низким показателем глобального потепления (GWP).

Компанией Honeywell был разработан новый хладагент R407F (фирменное название "Performax™ LT"). Он представляет собой гидрофторуглеродную (ГФУ) смесь R32, R125 и R134a, сходную с R407C, но имеет критическое давление близкое к R22. Хотя R407F был изначально разработан как альтернатива R22, он также может использоваться в качестве замены R404A благодаря низкому показателю GWP = 1800 в отличие от R404A,

чей GWP=3900. Performax LT имеет превосходство по рабочим характеристикам над R404A и предназначен для его замены в новых или уже работающих системах. Он повышает производительность системы, тем самым, сокращая расход электроэнергии и отрицательное воздействие на окружающую среду. Performax LT обладает низким потенциалом глобального потепления и наиболее высокой энергоэффективностью по сравнению с другими ГФУ. Сравним характеристики R407F и R404A (табл.1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика хладагентов R407F и R404A

Параметр	R407F	R404A
Класс	ГФУ	ГФУ
Тип	Смесь	Смесь
Глайд	Умеренный	Низкий
Состав	R32, R125, R134a	R125, R143a, R134a
Молекулярный вес, г/моль	82,1	97,6
Температура кипения при 1 атм (°C)	-46,05	-46,22
Температура замерзания при 1 атм (°C)		72,15
Критическая температура (°C)	82,67	
Критическое давление (psia)	689,6	540,82
Плотность насыщенной жидкости при 30°C (кг/м ³)	1094	1018
Удельная теплоемкость жидкости при 30°C (Дж/кг·°C)	1633	1591
Удельная теплоемкость паров при 1 атм и 30°C (Дж/кг·°C)	837	795
Предел воспламенения на воздухе	Нет	Нет
Группа безопасности по классификации ASHRAE	A1	A1

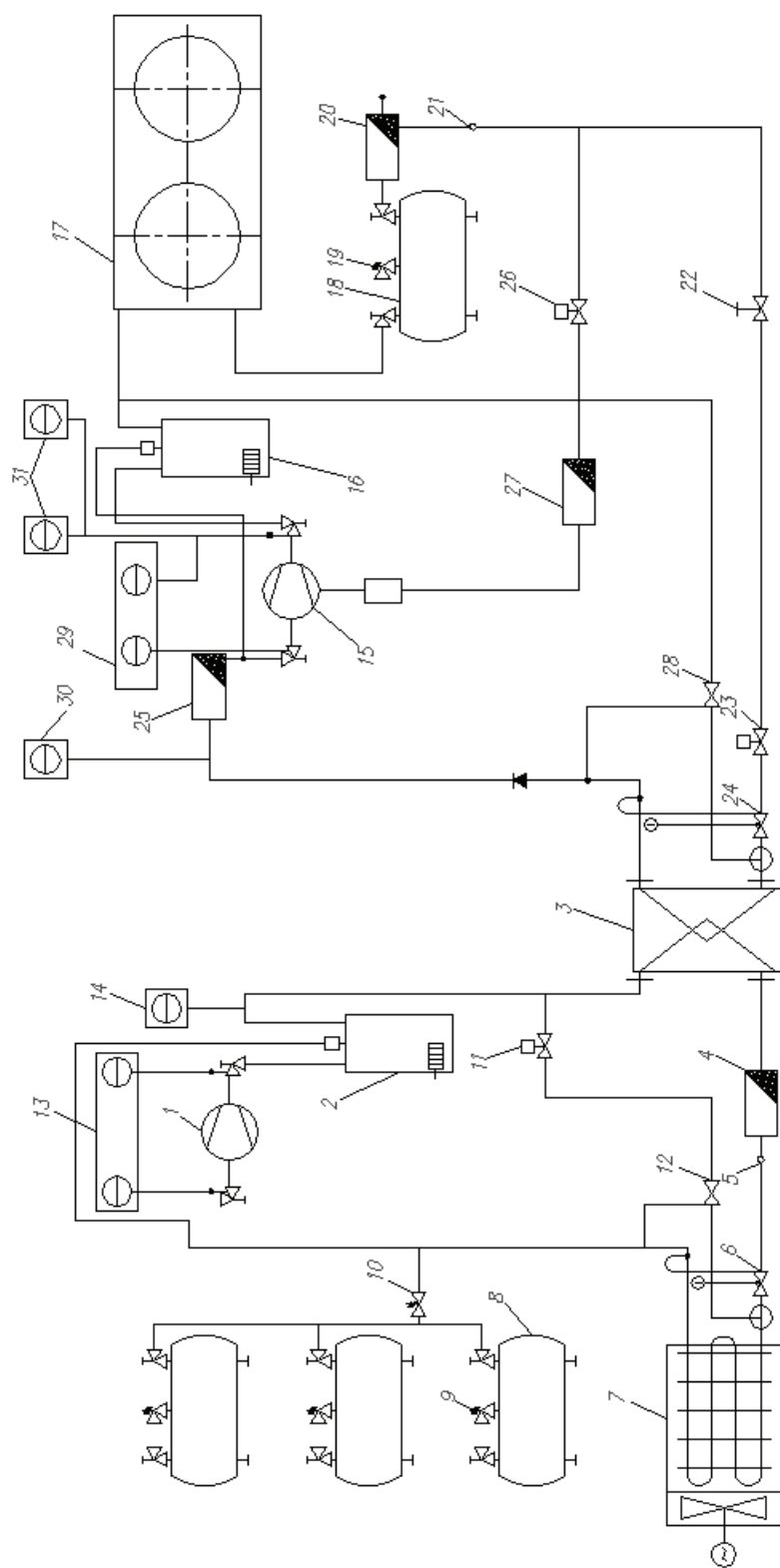


Рис. 1. Схема установки:

Нижняя ветвь каскада: 1–спиральный компрессор; 2–маслоотделитель; 3–межкаскадный теплообменник; 4–фильтр-осушитель; 5–индикатор влажности; 6–терморегулирующий вентиль; 7–воздухоотделитель; 8–расширительная емкость; 9–предохранительный клапан; 10–расширительная емкость; 11–соленоидный вентиль; 12–регулирующий вентиль; 13– двойное реле давления; 14–реле высокого давления для циклического запуска компрессора; 15–спиральный компрессор; 16–маслоотделитель; 17–выносной воздушный конденсатор; 18–ресивер; 19–предохранительный клапан; 20–фильтр-осушитель; 21–индикатор влажности; 22–запорный вентиль; 23,26–соленоидный вентиль; 24–терморегулирующий вентиль; 25–разборный фильтр-осушитель; 28–регулятор; 29– двойное реле давления; 30–реле низкого давления для запуска машины нижней ветви; 31–реле высокого давления для управления вентиляторами выносного конденсатора.

Для описания рабочих характеристик хладагента был произведен расчет верхнего каскада установки охлаждения барокамеры для испытания изделий авиационных систем кондиционирования воздуха (СКВ) до температуры -65°C (рис.1) на разных хладагентах. Основные параметры холодильной машины приведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры двухкаскадной холодильной машины

Параметр	Обозначение	Значение
Температура конденсации хладагента верхнего каскада, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{кв}}$	45
Температура кипения хладагента нижнего каскада, $^{\circ}\text{C}$	$t_{0\text{н}}$	-75
Температура кипения хладагента верхнего каскада, $^{\circ}\text{C}$	$t_{0\text{в}}$	-29
Температура конденсации хладагента нижнего каскада, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{кн}}$	-23
Величина перегрева рабочего вещества перед сжатием, $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_{\text{пг}}$	8
Величина переохлаждения рабочего вещества перед дросселированием, $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_{\text{пох}}$	3

Для сравнения выбраны следующие хладагенты:

- R22;
- R404A;
- R407C;
- R407F.

Расчеты циклов холодильной машины при различных температурах конденсации были проведены при помощи программного обеспечения «CoolPack». В табл. 3-6 приведены значения основных параметров холодильной машины величин для температур конденсации в диапазоне от плюс 20 до плюс 50°C для различных хладагентов.

Таблица 3

**Исследование характеристик холодильной машины на R22
(ODP=0.05, GWP=1700) при различных температурах конденсации $T_{\text{конд.}}$**

$T_{\text{конд.}}, ^{\circ}\text{C}$	π	$q_v, \text{кДж/м}^3$	ε
20	5,333	1277	2,368
30	6,990	1185	1,862
40	8,994	1090	1,494
45	10,141	1041	1,344
50	11.392	991	1,211

Таблица 4

**Исследование характеристик холодильной машины на R407C
(ODP=0, GWP=3700) при различных температурах конденсации $T_{\text{конд.}}$**

$T_{\text{конд.}}, ^\circ\text{C}$	π	$q_v, \text{кДж/м}^3$	ε
20	5,101	1331	2,191
30	6,648	1163	1,644
40	8,524	982,7	1,229
45	9,600	886,2	1,051
50	10,775	784,3	0,886

Таблица 5

**Исследование характеристик холодильной машины на R407C
(ODP=0, GWP=1824) при различных температурах конденсации $T_{\text{конд.}}$**

$T_{\text{конд.}}, ^\circ\text{C}$	π	$q_v, \text{кДж/м}^3$	ε
20	5,676	1320	3,724
30	7,568	1213	3,117
40	9,730	1106	2,415
45	10,838	1053	2,091
50	12,324	976	1,838

Таблица 6

**Исследование характеристик холодильной машины на R407C
(ODP=0, GWP=1700) при различных температурах конденсации $T_{\text{конд.}}$**

$T_{\text{конд.}}, ^\circ\text{C}$	π	$q_v, \text{кДж/м}^3$	ε
20	6,033	1100	2,334
30	8,068	1002	1,811
40	10,591	892	1,423
45	12,060	841,8	1,262
50	13,680	784,4	1,116

Для наглядного представления рассчитанных параметров ниже приведены графики зависимостей объемной холодопроизводительности установки (q_v), степени повышения давления компрессора (Π) и коэффициента холодопроизводительности (ε) (рис. 2-3).

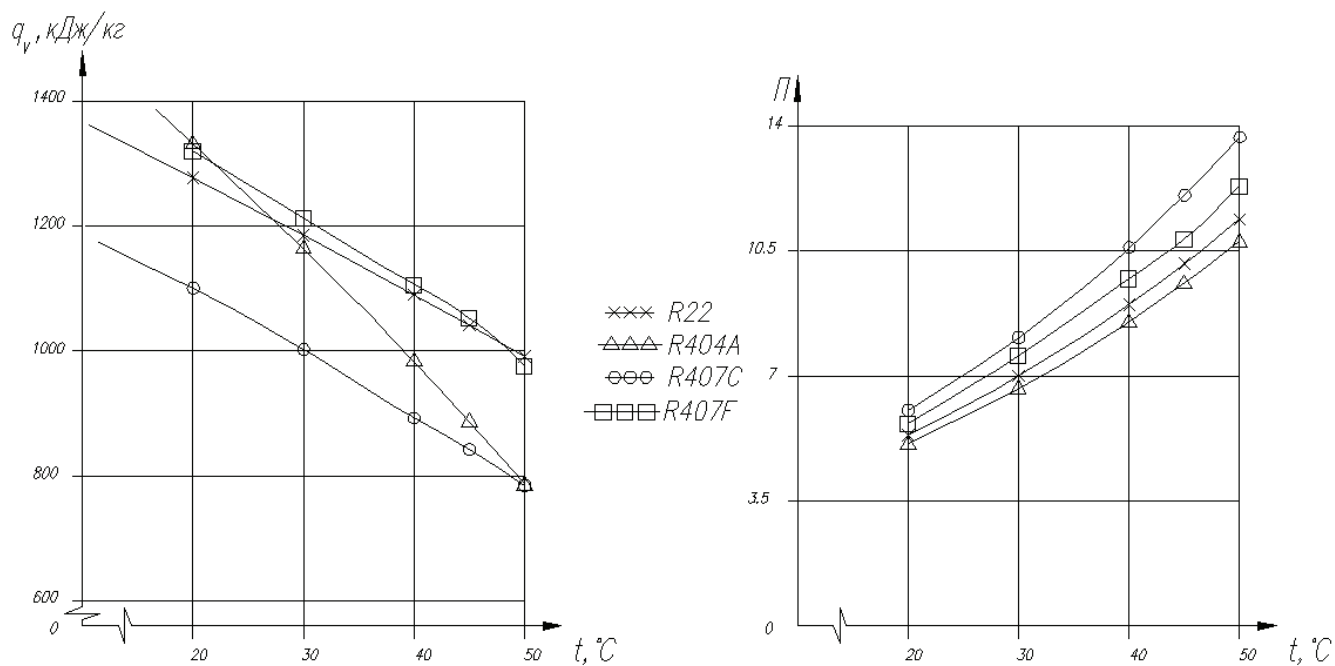


Рис. 2. Графики зависимости холодопроизводительности и степени повышения давления для выбранных хладагентов от температуры конденсации

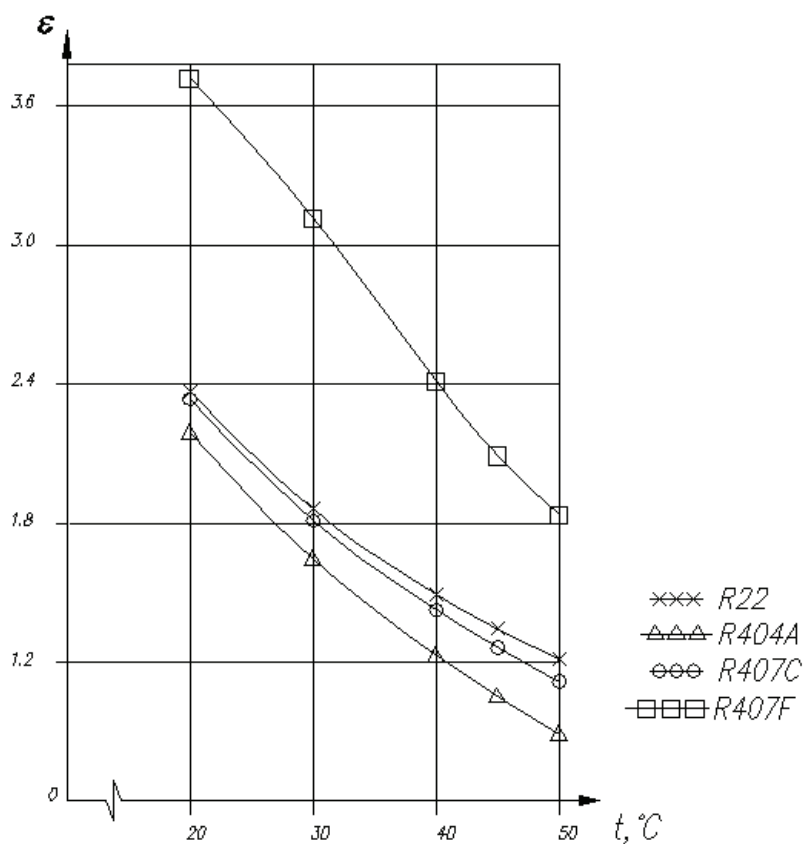


Рис. 3. График зависимости холодильного коэффициента для выбранных хладагентов от температуры конденсации

Из графиков видно, что R407F имеет наибольший холодильный коэффициент, и холодопроизводительность, близкую к R22, но также имеет достаточно высокие степени повышения давления, меньшие, чем у R407C, но большие, чем у R22 и R404A.

Благодаря хорошим рабочим характеристикам R407F является достойной альтернативой R404A, предназначенной для оборудования при низких и средних температурах. Переход уже существующих систем с хладагента R404A на R407F приведет к значительному сокращению выбросов углерода (более чем на 50%) в атмосферу, а также потребления электроэнергии. Этот продукт благодаря своим качествам может рассматриваться как заменитель R22. R407F относится к классу A1, что свидетельствует о его низкой токсичности и невоспламеняемости и представляет на данный момент наилучшее сочетание слабого влияния на окружающую среду и качеств продукта:

- более высокая холодопроизводительность по сравнению с R404A;
- повышение энергоэффективности систем;
- сокращение воздействия на окружающую среду благодаря показателю глобального потепления, равному 1824, и ниже, чем у R404A;
- возможность использования продукта без замены компонентов системы (кроме частей для дросселирования).

В последние годы резко возросло количество новых смесевых хладагентов, связано это в основном с вопросами экологической безопасности (протоколы). Однако стоит отметить, что некоторые рабочие характеристики хладагентов гораздо лучше характеристик запрещенных. Таким образом, современная тенденция такова, что наблюдается полный переход на экологически безопасные хладагенты с высокими показателями эффективности.

Список литературы

1. Кошкин Н.Н., Сакун И.А., Бамбушек Е.М. Холодильные машины. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд.), 1985, 510 с.: ил.
2. Мааке В., Эккерт Г. Ю., Кошпен Ж. Л. Учебник по холодильной технике. МГУ, 1998, 1142 с.
3. Цветков О.Б. Хладагенты и окружающая среда //Холодильная техника, 2013, №1, с.20.
4. Цветков О.Б. Хладагенты и экологическая безопасность //Холодильная техника, 1997, №1, с.20-22.
5. R407F a lower GWP alternative to R404A //Портал компании Danfoss A/S 2012-09. URL.<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCC.PZ.000.F1.02%20%20%20AC%20R407F%20Statement.pdf> (дата обращения: 13.05.2013г).

6. Honeywell Genetron[®] Performax[™] LT Refrigerant - Properties, Uses, Storage and Handling
//<http://www.honeywell.com>: портал компании Honeywell. 2012. URL.
<http://www.honeywell-refrigerants.com/wp-content/uploads/2012/02/Honeywell-genetron-performaxlt-technical-specs.pdf> (дата обращения: 13.05.2013г).