

Автореферат *Хмельник М.Г.*
Х65

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

ХМЕЛЬНИК Михаил Георгиевич

УДК 621.564.25:536.423

ПРИМЕНЕНИЕ СМЕСИ R152a/R218 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ
ТЕРМОНАПРЯЖЕННОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕССОРА

Специальности: 05.04.03- машины и аппараты холодильной и криогенной
техники и систем кондиционирования
05.14.05- теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

- Одесса - 1987

Работа выполнена в Одесском технологическом институте холодильной промышленности.

Научный руководитель	-	кандидат технических наук, доцент А.П.Кузнецов
Официальные оппоненты,	-	доктор технических наук, профессор В.Ф.Чайковский
		кандидат технических наук, старший научный сотрудник В.М.Колесник
Ведущая организация	-	НПО "Электробытприбор", г.Киев

Защита состоится "3" июля 1987 г. в 12 часов на заседании специализированного Совета К.068.27.01 при Одесском технологическом институте холодильной промышленности по адресу:
270057, Одесса, ул.Петра Великого, 1/3, ОТИХП.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

1987 г.

К.Никульшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эксплуатационные и технико-экономические характеристики холодильных машин существенно зависят от термодинамических свойств применяемых рабочих тел. Особый интерес представляют не только новые хладагенты, но и смеси веществ, которые в отдельных случаях могут выгодно отличаться от применяемых рабочих тел. Наряду с энергетическими характеристиками холодильных машин большое значение имеет термонапряженность компрессора со встроенным электродвигателем, зависящая от температур его обмоток, а также агента в конце процесса сжатия, масла и некоторых деталей. Эти показатели имеют особое значение для малых герметичных холодильных машин, работающих в относительно тяжелых эксплуатационных условиях, например, в низкотемпературных режимах при высоких температурах конденсации. Поэтому актуальной задачей является разработка нового рабочего тела, обеспечивающего одновременно высокую энергетическую эффективность и низкую термонапряженность компрессора.

Цель работы состоит в разработке нового рабочего тела на основе смеси R152a/R218 и сравнительном исследовании энергетических характеристик и термонапряженности низкотемпературных герметичных компрессоров, работающих на различных хладагентах (R12, R22, R502, R218, R152a, R152a/R218).

При выполнении работы поставлены и решены следующие задачи:
разработаны новые рабочие тела на основе хладагентов R152a, R218 для низкотемпературных герметичных машин, работающих при повышенных температурах конденсации $T_k = 313...328$ К;

экспериментально исследованы фазовые равновесия и рассчитаны термодинамические свойства смеси R152a/R218, построены диаграммы $H-\xi$ и $H-P$;

определены энергетические, объемные и эксплуатационные показатели работы низкотемпературного герметичного компрессора и агрегата ВН-630(2) на различных холодильных агентах (R12, R22, R502, R218, R152a), а также рабочих телах сформированных на основе R152a и R218.

Научная новизна. Определены в широком диапазоне температур и концентраций термодинамические свойства новой смеси хладагентов R152a/R218 и построены диаграммы $H-\xi$ и $H-P$. Впервые проведено исследование характеристик низкотемпературного герметичного компрессора и агрегата на смеси R152a/R218 различных концентраций.

Научные положения, новизна которых защищается в работе:

1. Применение азеотропной смеси R152a/R218 (0,165/0,835) в малых низкотемпературных герметичных машинах повышает их энергетическую эффективность и снижает термонапряженность компрессора, что позволяет отнести его к классу тропического исполнения без дополнительных конструктивных изменений.

2. Смесь холодильных агентов R152a/R218 образует гетероазеотроп с критической температурой расслоения 220,4 К, выше которой он переходит в азеотроп.

Наиболее существенные результаты, полученные в работе:

1. Проведены сравнительные исследования энергетических, объемных и эксплуатационных характеристик низкотемпературного герметичного холодильного компрессора на R12, R22, R152a, R218, смесях R502 и R152a/R218 при температурах кипения $T_0 = 233...258$ К и конденсации $T_k = 303...328$ К, которые показали, что при работе на смеси R152a/R218 холодильный коэффициент выше на 12 и 5 %, а температуры масла и обмоток встроенного двигателя становятся ниже на 28 и 10 К по сравнению с R22 и R502, соответственно, причем наибольший эффект наблюдается при повышенных температурах конденсации.

2. Получены Р-Т-х-у-данные смеси R152a/R218 во всем интервале составов при температурах 203...313 °С и давлениях 0,04...1,6 МПа.

3. Рассчитаны термодинамические свойства смеси R152a/R218 и построены диаграммы $h-\xi$ и $h-p$.

Практическая ценность. Доказана возможность использования эффективных низкотемпературных герметичных машин на смеси R152a/R218 в условиях эксплуатации с повышенной температурой окружающей среды. Результаты экспериментального исследования смеси R152a/R218 и их обработка позволили составить рекомендуемые для практического использования таблицы термодинамических свойств и построить диаграммы $h-\xi$ и $h-p$, позволяющие проводить расчеты и оптимизацию циклов холодильных машин. Полученные результаты были использованы в опытно-конструкторских разработках низкотемпературных герметичных машин на РМК "Укрторгтехника" (г.Одесса), ПО им.С.П.Королева (г.Киев).

Апробация работы. Результаты работы докладывались на II Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению (г.Мелитополь, 1978 г.); III Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению (г.Одесса, 1982 г.);

научно-технической конференции "Молодые специалисты и молодые ученые - производству" (г.Одесса, ИПО "Кислородмаш", 1982 г.); ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП в 1978-1984 г.г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 работы и получено одно авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы, включающего 83 источника и приложения. В ней содержится 130 стр. машинописного текста, 46 рис. и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Пути улучшения характеристик низкотемпературных герметичных компрессоров

Современные поршневые компрессоры изготавливаются полностью унифицированными для работы на различных холодильных агентах. Однако при этом предусматривается преимущественное применение тех или иных холодильных агентов для определенных уровней температур кипения и конденсации.

К рабочим телам холодильных машин предъявляются, как показывают исследования И.С.Бадилькеса, В.Б.Якобсона, А.В.Быкова, И.М.Калинина и др., различные требования, из которых, в первую очередь, учитывается их влияние на энергетическую эффективность термодинамического цикла и эксплуатационные показатели холодильных машин и компрессоров. Особенно остро стоит задача повышения энергетической эффективности и снижения термонапряженности компрессоров малых низкотемпературных герметичных машин, работающих в относительно тяжелых эксплуатационных условиях, например при повышенных температурах конденсации.

Эта задача при использовании традиционных рабочих тел может решаться путем улучшения характеристик компрессора и снижения его термонапряженности. Последнее обеспечивается применением дополнительных способов охлаждения, основанных на переносе тепла циркулирующим хладагентом в конденсатор, теплоносителем в дополнительный холодильник, либо путем интенсификации охлаждения кожуха компрессора окружающей средой. Снижение термонапряженности частично влияет и на эффективность компрессора, в частности, на ζ_0 .

Однако этот путь требует усложнения конструкции машин, введения дополнительных элементов и аппаратов.

Важным способом снижения термонапряженности компрессора при сохранении его высоких энергетических характеристик является применение более эффективных рабочих тел.

В современных низкотемпературных герметичных холодильных машинах применяют рабочие вещества - R12, R22, R502. Холодопроизводительность Q_0 и холодильный коэффициент ϵ , при работе на R12 уступают его значениям при работе на R22 во всем диапазоне одноступенчатого сжатия. Степень повышения давлений π в холодильном цикле для этих агентов практически одинакова (несколько меньше для R22). При режимах с T_0 ниже 243 К R12 применяют редко из-за вакуума на стороне всасывания, но давление конденсации у R12 ниже, поэтому его следует применять при режимах работы с высокими температурами конденсации. Сопоставление R22 с R502 показывает преимущества последнего при режимах с T_0 ниже 248...243 К. Так, при работе на R502 ниже температура конца сжатия $T_{ц2}$, выше λ , Q_0 и ϵ . Одно из важнейших преимуществ R502 - обеспечение лучших условий для охлаждения встроенного электродвигателя. Однако в низкотемпературных режимах при высоких температурах конденсации термонапряженность остается все же высокой. Поэтому необходимо снижать температурный уровень электродвигателя, масла и деталей для увеличения надежности и долговечности низкотемпературных компрессоров.

Анализ показывает, что достичь одновременно высокой энергетической эффективности и низкой термонапряженности компрессора можно при использовании рабочего тела на основе RI52a и R218, смесь которых обладает рядом преимуществ по сравнению с применяемыми рабочими телами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать новое рабочее тело на основе хладонв RI52a и R218 для низкотемпературных герметичных машин, работающих при повышенных температурах конденсации; провести экспериментальные исследования фазовых равновесий, рассчитать термодинамические свойства смеси RI52a/R218 и построить диаграммы $H-f$ и $H-P$; определить энергетические, объемные и эксплуатационные показатели работы низкотемпературного герметичного компрессора и агрегата на различных холодильных агентах, а также рабочих телах на основе RI52a и R218.

2. Исследования фазовых равновесий смеси RI52a/R218

Исследования проводились на установке, состоящей из следующих основных элементов: криостата; блока термостатирования; схемы измерения температуры и давления; дозирочной установки.

Схема жидкостного криостата с плавной регулировкой температуры представлена на рис.1. Криостат состоит из стеклянного сосуда Дьюара емкостью 8 л. В качестве термостатирующей жидкости использовался этиловый спирт, который интенсивно перемешивался мешалкой и охлаждался азотом либо смесью сухой лед-ацетон. Температуру поддерживали с точностью $\pm 0,02$ К с помощью релейной схемы.

Температуру в криостате измеряли по компенсационной схеме платиновым термометром сопротивления с точностью $\pm 0,01$ К. Для дозирования смеси в измерительную ячейку создана стеклянная вакуумная установка. Молярную концентрацию рассчитывали по объему баллончика, плотности жидкой фазы агентов, объему дозирочной установки и давлению в ней. Действительное количество компонентов смеси определяли взвешиванием на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,005$ г.

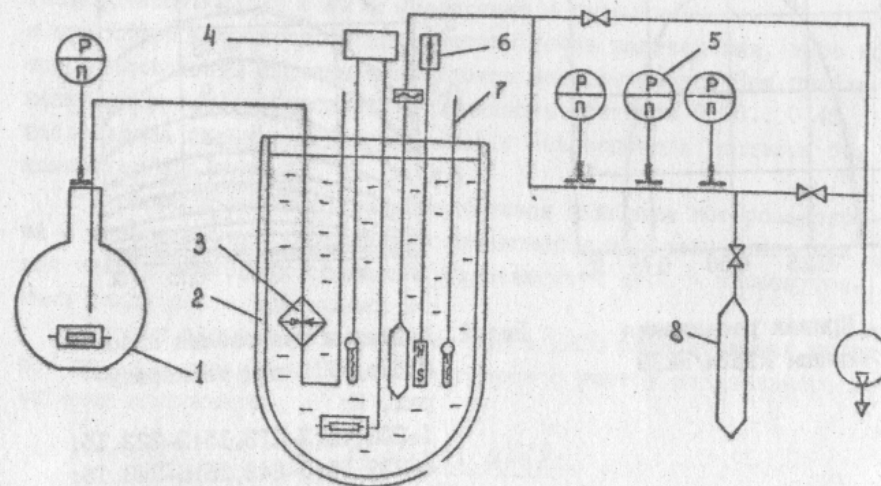


Рис.1. Схема криостата для исследования фазовых равновесий: 1-сосуд Дьюара; 2-криостат; 3-теплообменник; 4-релейная схема; 5-манометры; 6-мешалка; 7-термометр сопротивления; 8-баллон.

Для исследований использовались образцы RI52a и R2I8, изготовленные на предприятиях Государственного института прикладной химии (ГИПХ). Чистота хладонов RI52a и R2I8 составляла 99,96 % и 99,97 %, соответственно.

Давление в ячейке определялось измерением равного ему противодавления образцовыми манометрами и вакууметром класса 0,4.

P-T-x-зависимость системы RI52a/R2I8 исследовалась статическим методом. Давление пара измеряли по изосоствам, термостатируя исследуемую систему в интервале температур 203...313 К через каждые 10 К. Измерения проводили спустя один час после установления термодинамического равновесия между жидкой и паровой фазами. Предельная относительная погрешность по давлению оценена в 2,5 %. Погрешность определения составов системы с учетом паровой фазы не превышает 1,5 %.

Из P-T-x-данных для смеси RI52a/R2I8 (рис.2) видно, что эта система образует азеотроп. Неизменность давления пара в области низких давлений указывает на существование зоны ограниченной растворимости компонентов в жидкой фазе.

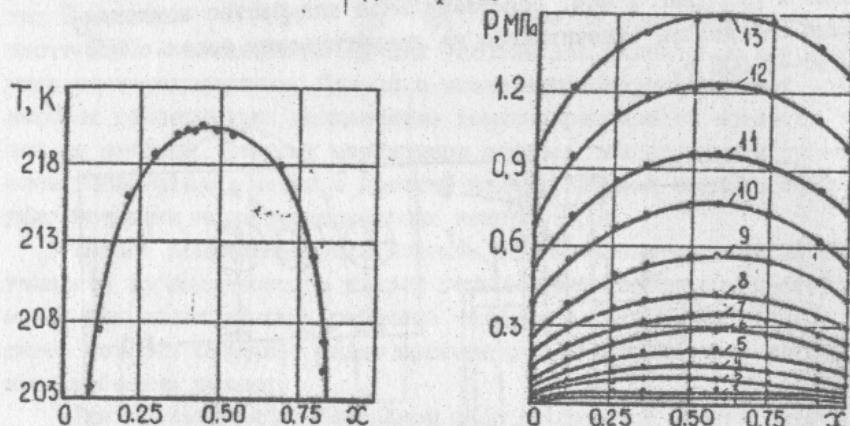


Рис.3. Кривая расслоения смеси RI52a/R2I8

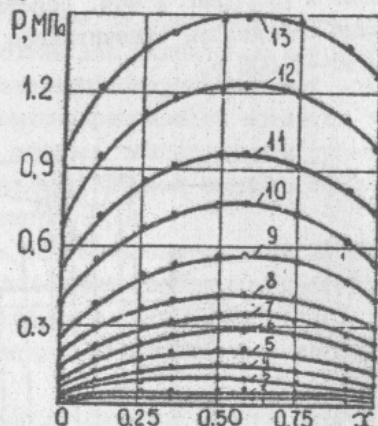


Рис.2. Изотермы равновесия смеси RI52a/R2I8 при температурах, К:
1-203, 15; 2-213, 15; 3-223, 15;
4-233, 15; 5-243, 15; 6-248, 15;
7-253, 15; 8-263, 15; 9-273, 15;
10-283, 15; 11-293, 15;
12-303, 15; 13-313, 15.

Зависимость давления пара от температуры для азеотропной концентрации смеси ($x = 0,640$), которая определялась из графика $P-x$ была описана в диапазоне температур $T = 223...328$ К со средней погрешностью 0,8 % уравнением Антуана:

$$\lg P = \alpha - \frac{b}{c+T} \quad (1)$$

где $\alpha = 3,4767$; $b = 553,4598$; $c = -71,13$.
Нормальная температура азеотропной смеси RI52a/R2I8 составляет $T_s = 230,35$ К.

Исследования фазовых равновесий типа жидкость-жидкость системы RI52a/R2I8 проводились в ампулах из молибденового стекла.

Температуру растворимости смеси данной концентрации определяли несколько раз как среднюю между температурами исчезновения и появления второй фазы. Точность измерения точек на кривой расслоения исследуемой системы составляет $\pm 0,05^\circ\text{C}$.

Охлаждение, нагревание, термостатирование, измерение температуры и дозировка компонентов проводились так же, как и при исследовании фазовых равновесий жидкость-пар.

На рис.3 приведены результаты экспериментального исследования фазового равновесия жидкость-жидкость системы RI52a/R2I8. Растворимость RI52a в R2I8 возрастает с повышением температуры и при 220,4 К существует критическая точка растворения, выше которой компоненты системы смешиваются неограниченно. При приближении к критической области в диапазоне составов 0,36...0,46 наблюдалось сильное эмульгирование и опалесценция раствора без изменения его цвета.

Система RI52a/R2I8 характеризуется наличием гетероазеотропа с температурами кипения расслаивающейся жидкости ниже, чем для чистых веществ и составами равновесного пара - промежуточными между составами жидких фаз.

Состав паровой фазы системы RI52a/R2I8 рассчитывался по одной из форм уравнения Дюгема-Маргулеса с учетом неидеального поведения компонентов:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y(1-y)}{y-x} \cdot \frac{x \cdot V_1^s + (1-x)V_2^s}{kT} \quad (2)$$

Мольные объемы чистых компонентов в паровой фазе определяли по уравнению:

$$V_i^s = \frac{RT}{p} + B_{ii} \quad (3)$$

Значения вторых вириальных коэффициентов R152a и R218 рассчитывались с помощью потенциала Стокмайера и Леннарда-Джонса, соответственно. Второй вириальный коэффициент смеси определялся по известным правилам комбинирования.

Полученные данные по фазовому равновесию были проверены на термодинамическую согласованность методом Редлиха-Кистера. Проверка показала, что данные по равновесию системы жидкость-пар термодинамически согласованы.

Максимальная погрешность по γ оценивается в пределах 1,5 %.

3. Расчет термодинамических свойств смеси R152a/R218

На основании полученных Р-Т-х-у-данных для системы R152a/R218 рассчитаны термодинамические свойства смеси и построены диаграммы состояния, с помощью которых можно проводить основные расчеты, связанные с проектированием холодильных машин.

Зависимость энтальпии пара от концентрации рассчитывалась с учетом неидеальности по уравнению:

$$H''_{cm} = H''_1 \cdot x + H''_2(1-x) + x(1-x) \left[\Delta B_2^{(12)}(1) - \frac{d\Delta B_2^{(12)}}{dT} \right] \rho. \quad (4)$$

Энтальпия жидкой фазы системы как функция состава определялась в соответствии с реальным поведением раствора как

$$H'_{cm} = H'_1 x + H'_2 (1-x) + H^E. \quad (5)$$

Расчет H^E как избыточной функции по данным фазового равновесия смеси основывался на определении зависимости коэффициентов активности от температуры

$$\left(\frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial T}\right)_{x_i} = -\frac{H_i^\epsilon}{RT^2} \quad (6)$$

Коэффициент активности определялся с учетом неидеальности паровой фазы

$$\ln \gamma_i = \ln \frac{p_i \cdot y_i}{p_i^0 \cdot x_i} + \frac{(B_2^{ii} - V_i^{\text{омс}})(p - p_i^0)}{RT} + \frac{(2B_2^{(12)} - B_2^{(11)} - B_2^{(22)})(1 - y_i)^2 \cdot p}{RT} \quad (7)$$

Рис.4. Диаграмма $H - \xi$ смеси R152a/R218

С помощью избыточных функций и энтальпий фаз впервые определены термодинамические свойства смеси R152a/R218 и построены диаграммы $H-\xi$ и $H-P$ (для азеотропного состава), представленные на рисунках 4 и 5. Диаграммы дают возможность проводить тепловые расчеты в практически важном для холодильной техники интервале температур, давлений и составов. Для удобства проведения тепловых расчетов молярный состав X путем пересчета заменен массовым ξ .

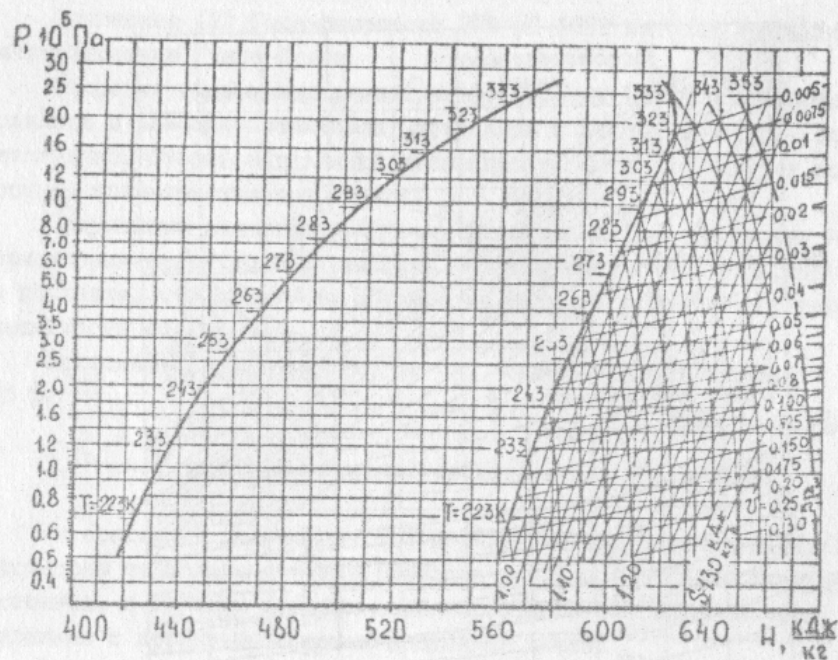


Рис.5. Диаграмма H - P смеси RI52a/R218 (0,165/0,835) азеотропного состава

4. Исследования характеристик герметичного низкотемпературного компрессора и агрегата ВН-630(2) на хладагентах RI2, R22, R502, RI52a, R218 и смесях RI52a/R218

Энергетические, эксплуатационные и др. характеристики низкотемпературного герметичного компрессора и агрегата определялись на универсальной установке, отвечающей требованиям ГОСТ 22502-77. Установка позволила проводить испытания в широком диапазоне температур кипения и конденсации при постоянной температуре окружающей среды. Установка включала следующие основные элементы: герметичный агрегат ВН-630(2); водяной конденсатор типа труба в трубе; расходомер - ресивер и калориметр со вторичным холодильным агентом.

Расход холодильного агента, циркулирующего в системе, определялся тремя независимыми способами: по балансам электрокалориметра и конденсатора и расходомеру - ресиверу жидкого холодиль-

ного агента. Мощности нагревателя электрокалориметра и электродвигателя компрессора измерялись комплектами К-506. Температура агента в характерных точках цикла контролировалась лабораторными термометрами и медь-константановыми термopарами со вторичными приборами типа КСП. Давления измерялись образцовыми манометрами класса 0,4. Исследуемый компрессор и агрегат были установлены в камере объемом 12 м³. Температура в камере поддерживалась автоматически.

Испытания компрессора проводились на чистых агентах RI2, R22, RI52a, R218, смесях R502 и RI52a/R218 (0,35/0,65; 0,50/0,50; 0,165/0,835) при температурах кипения $T_0 = 258...233$ К и конденсации $T_k = 303...328$ К.

Результаты сравнительных испытаний показали, что холодопроизводительность компрессора на азеотропной смеси RI52a/R218 (см. рис.6) выше, чем при работе на всех исследуемых агентах, уступая R502 всего на 5...10 %. При использовании азеотропной смеси RI52a/R218 не только увеличивается холодопроизводительность (на 60 % по сравнению с RI2 и на 8 % по сравнению с R22), но и улучшаются энергетические показатели компрессора (см.рис.7). Полученные экспериментальные значения электрического холодильного коэффициента позволяют сделать вывод о том, что применение данной азеотропной смеси наиболее предпочтительно при высоких температурах конденсации.

При работе на азеотропной смеси RI52a/R218 в режиме с $T_0 = 243$ К и $T_k = 328$ К наблюдается увеличение электрического холодильного коэффициента на 5...11 %, 5...15 %, 3...6 % по сравнению с RI2, R22 и R502, соответственно. Различия в объемных и энергетических показателях компрессора для сравниваемых рабочих веществ обусловлены, в основном, различием в коэффициентах подачи λ , зависящих преимущественно от отношения давлений π . Так, при работе на смеси в указанном режиме λ компрессора выше, так как более низким оказывается π . В этих условиях, как и следовало ожидать, на смеси RI52a/R218, у которого показатель политропы сжатия K_T ниже, чем у R22 и R502, значение температуры конца сжатия также ниже. Исследования подтвердили, что электрический к.п.д. компрессора слабо зависит от рода рабочего тела. Основное влияние на η_e оказывает степень повышения давления.

Основной эффект, который достигается при работе на смеси RI52a/R218 - значительное снижение термонапряженности компрессора. Это подтверждают данные, приведенные в таблице. К примеру, темпе-

Значения температур, характеризующих
термонапряженность компрессора ФГН-630(2)

Хладагент	: Температуры ки-: : пения и конден-: : сации		Температуры, К				
	T_0, K	T_k, K	Обмотки: эл. дв.:	Масла :	Пара пе- ред вса- сываю- щим кла- паном	Пара в: нагнета- тельной: полости	Нагне- тания
R12	243	328	330	343	349	423	351
	248	328	330	341	349	419	357
	258	328	330	337	345	403	365
	243	303	321	331	339	406	345
	258	303	318	325	338	387	349
R22	233	328	338	356	374	464	344
	238	328	340	356	373	463	357
	248	328	343	355	370	450	376
	258	328	341	353	366	432	389
	238	303	332	345	366	442	359
R502	233	328	331	346	356	432	350
	238	328	331	345	355	431	360
	248	328	331	341	353	421	372
	258	328	328	337	350	405	375
	238	303	323	330	336	403	353
R152a	248	328	333	343	366	407	368
	253	328	334	341	366	401	376
	258	328	334	339	365	396	381
	248	303	328	334	353	432	367
	258	303	324	328	351	423	370
R218	238	328	323	329	342	402	360
	248	328	323	326	340	390	367
	258	328	322	324	337	371	369
	243	303	318	322	323	383	360
	258	303	309	315	319	365	361
R152a/R218 (0,165/0,635)	233	328	324	338	347	410	347
	238	328	324	338	346	409	350
	248	328	324	334	344	395	355
	258	328	321	326	341	376	356
	238	303	317	325	329	391	347

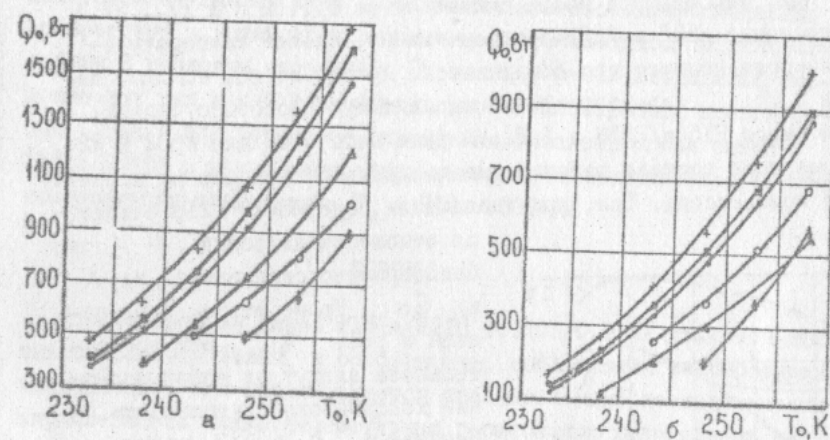


Рис. 6. Зависимость холодопроизводительности герметичного компрессора ФГН-630(2) от температуры кипения при температурах конденсации 303 К (а) и 328 К (б) для веществ:
+ - R502; * - R152a/R218 (0,165/0,835); • - R22;
○ - R12; ▲ - R218; ♦ - R152a.

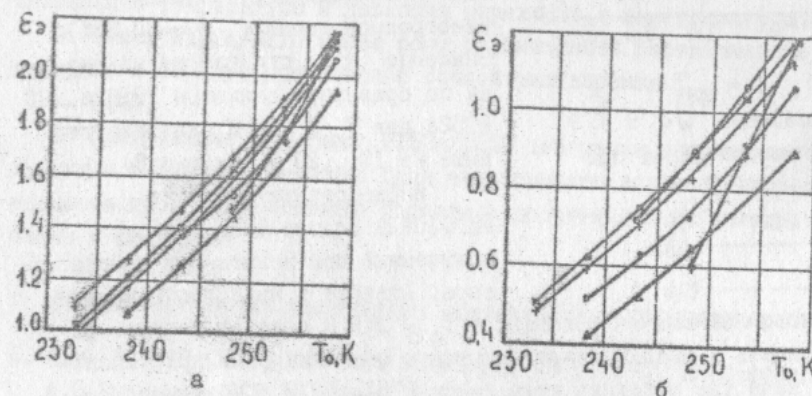


Рис. 7. Зависимость электрического холодильного коэффициента от температур кипения при температурах конденсации 303 К (а) и 328 К (б).

ратура обмоток электродвигателя при работе на R152a/R2I8 (0,165/0,835) ниже на 8...12 К, чем на R502 и на 18...22 К, чем на R22. Температура масла снижается на 6...12 К и 17...27 К по сравнению с R502 и R22, соответственно. Низкая температуронапряженность компрессора объясняется, прежде всего, большой величиной $\frac{C_p}{T_c}$, характеризующей охлаждающую способность пара. Она для смеси R152a/R2I8 в 1,5...2 раза выше, чем для R502 и R22.

Изменение состава рабочей смеси оказывает влияние на характеристики компрессора. Так, при увеличении содержания R2I8 снижается отношение давлений π , что благоприятно сказывается на λ и G_a . Кроме этого, наблюдается и рост q_v . Эти обстоятельства влекут за собой повышение холодопроизводительности Q_o .

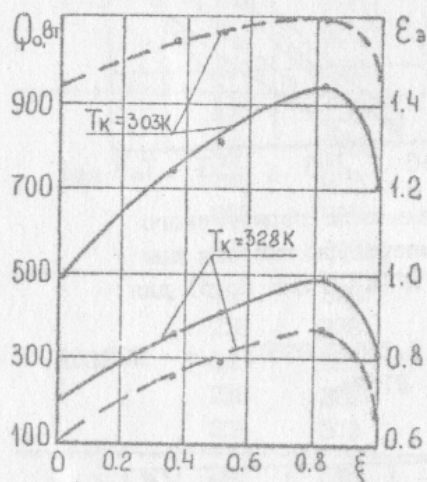


Рис.8. Изменение Q_o и \mathcal{E}_z от концентрации при $T_o = 248$ К

— Q_o
- - - \mathcal{E}_z

ных в тепловом отношении условиях с $T_{o.c.} = 318$ К показал хорошую работоспособность и высокую энергетическую эффективность при использовании в качестве рабочего тела смеси R152a/R2I8. Снизилась термонапряженность и внеопотребление в сравнении с работой на R22 и R502, при холодопроизводительности, на 8 % больше, чем на R22, Электрический холодильный коэффициент вырос на 10...20 % по сравнению с работой агрегата на R22 и на 3 % выше, чем при работе на R502.

ся отношение давлений π , что благоприятно сказывается на λ и G_a . Кроме этого, наблюдается и рост q_v . Эти обстоятельства влекут за собой повышение холодопроизводительности Q_o . Начиная с $\xi > 0,3$, холодопроизводительность компрессора на смеси становится больше, чем при работе на R12. Действительный электрический холодильный коэффициент также растет с увеличением содержания в смеси R2I8 и достигает максимального значения в азеотропной точке ($\xi = 0,835$). Значение \mathcal{E}_z при работе на смеси по сравнению с чистым R2I8 и R152a для $T_k = 328$ К оказывается выше на 10...20 % (см.рис.8).

Исследование агрегата ВН 630(2) подтвердило выводы, полученные при испытаниях компрессора. Агрегат в наиболее напряжен-

Испытания показали, что применение различных холодильных агентов и их смесей дает возможность использовать одинаковые компрессоры в установках значительно отличающихся по условиям работы и тепловым нагрузкам. Применение смеси R152a/R2I8 возможно как для целей термостатирования (азеотропная концентрация), так и для поточного охлаждения (неазеотропные смеси R152a/R2I8) в низкотемпературных герметичных компрессорах при температурах конденсации $T_k = 313...328$ К.

ВЫВОДЫ

1. Азеотропная смесь R152a/R2I8 (0,165/0,835) является эффективным рабочим телом, в особенности, при высоких температурах конденсации, что подтверждается сравнительными исследованиями характеристик низкотемпературных герметичных холодильных машин.
2. Низкая термонапряженность компрессора, работающего на смеси R152a/R2I8 позволяет рекомендовать ее для использования в качестве рабочего тела в системах охлаждения тропического исполнения.
3. Смесь R152a/R2I8 при работе в низкотемпературном компрессоре и агрегате является термически и химически стабильной, обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками.
4. Система R152a/R2I8 относится к классу гетероазеотропных и с повышением температуры и давления переходит в азеотропную область.
5. Смесь R152a/R2I8 имеет зону ограниченной растворимости в жидкой фазе с верхней критической точкой растворения $T_{кр} = 220,4$ К; $x_{кр} = 0,40$.
6. Построенные для смеси R152a/R2I8 диаграммы энтальпия-концентрация и энтальпия-давление (для азеотропного состава) дают возможность проводить основные расчеты и проектирование холодильных машин и аппаратов.

Основной материал диссертации опубликован в следующих работах:

1. А.с. 637419 СССР, МКИ² С 09 К 5/04//F 25 В 1/00. Хладагент/А.П.Кузнецов, И.В.Волобуев, М.Г.Хмельнюк (СССР).— 2509667/23-06; Заявлено 21.07.77; Опубл. 15.12.78, Бюл. № 46 // Открытия. Изобретения.— 1978.— №46.— С.34.
2. Исследование фазового равновесия смеси холодильных агентов R152a/R2I8 /Кузнецов А.П., Волобуев И.В., Хмельнюк М.Г. и др.// Холодильн.техника и технология: Респ.межвед.науч.-техн.сб.—

- Киев., 1982.- Вып.34.- С.36-38.
3. Хмельнюк М.Г., Волобуев И.В. Исследование герметичных компрессоров на азеотропной смеси холодильных агентов R152a/R218 //Тез.докл. III Всесоюзной науч.-техн.конф. по холодильному машиностроению, окт. 1982г.- Одесса.- М., 1982.- С.56.
 4. Расчет термодинамических свойств газообразной системы R152a/R218/Волобуев И.В., Лось В.И., Хмельнюк М.Г. и др.//Холодильн.техника и технология: Респ.межвед.науч.-техн.сб.- Киев., 1983.- Вып.36.- С.39-40.
 5. Волобуев И.Р., Хмельнюк М.Г., Болховский П.С. Термодинамические свойства смеси R152a/R218//Холодильн.техника и технология: Респ.межвед.науч.-техн.сб.- Киев., 1985.- Вып.39.- С.68-71.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

P - давление; T - температура; X - мольный состав жидкости по R218; Y - мольный состав пара по R218; V^o - удельный объем; R - универсальная газовая постоянная; B - второй вириальный коэффициент; γ - коэффициент активности; H - энтальпия; H^E - теплота смешения; Π - степень повышения давления; λ - коэффициент подачи; Q_o - холодопроизводительность; ε - холодильный коэффициент; η_z - электрический к.п.д. компрессора; G_a - расход холодильного агента; $\{$ - весовой состав по R218; C_p - средняя теплоемкость пара в интервале температур.

М.Г. Хмельнюк