

На правах рукописи

Шарабурин Алексей Владимирович

УДК 621.564
/

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА И СМЕСЕЙ
ХЛАДОНОВ R22, RC318 и R142b ДЛЯ ЗАМЕНЫ R12 В
ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ
УСТАНОВКАХ.**

Специальность 05.04.03. – Машины, аппараты и процессы холодильной и
криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва – 2004

Диссертация выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Глухов С.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Афанасьев В.Н.

кандидат технических наук,
профессор Стрельцов А.Н.

Ведущая организация: ОАО «РИТМ»

Защита диссертации состоится 23 июня 2004 г. в 14³⁰
часов на заседании Специализированного совета Д.212.142.16 при
Московском государственном техническом университете имени Н.Э.
Баумана по адресу: 107005, Москва, Лефортовская наб., д. 1, корпус
факультета «Энергомашиностроение».

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.
Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан 18 мая 2004 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Д.212.141.16,
кандидат технических наук, доцент

 Глухов

Общая характеристика работы.

Актуальность. Развитие холодильной техники в настоящее время находится под влиянием трех определяемых экологическими проблемами взаимосвязанных факторов:

- требований Монреальского протокола о прекращении потребления веществ, разрушающих озоновый слой (в первую очередь R12) и о временном и количественном ограничении применения веществ переходной группы (в том числе R22), имеющих малый потенциал разрушения озонового слоя (ODP);
- требований Киотского протокола к «Рамочной конвенции ООН об изменении климата» о регулировании эмиссии парниковых газов (веществ, имеющих высокий потенциал глобального потепления - GWP), к которым относятся широко применяемые хладагенты R22, R134a и многие другие вещества, используемые в холодильной технике;
- ГОСТ Р МЭК 66035-2-24-2001, разрешающий использование в приборах бытовой холодильной техники углеводородов (пропан, изобутан, пропан-бутан) при ограниченной массе заправки (до 150 г).

Анализируя наиболее известные, разработанные в нашей стране и за рубежом хладагенты – заменители R12, можно убедиться, что у каждого из них имеются уязвимые места с точки зрения выполнения перечисленных выше требований.

Обзор литературных данных показал, что равноценной замены R12 в холодильной технике для условий нашей страны пока не найдено, особенно для ретрофита действующего холодильного оборудования. Использование многочисленных альтернативных хладагентов, таких как R134a, R401A, R401B, R401C, R409A и др., предлагаемых зарубежными компаниями, сталкивается сопредельными трудностями. Предлагаемые хладагенты запатентованы компаниями-производителями и имеют высокую стоимость. Зачастую в состав хладагентов-смесей входят редкие и, следовательно, дорогие, компоненты, что существенно увеличивает затраты на сервисное обслуживание холодильных систем. Применение большинства новых хладагентов требует изменения условий работы системы (замены масла, замены некоторых агрегатов и аппаратов холодильной машины).

Российские разработки направлены на использование более дешевых смесевых хладагентов (R22/R142b, C1, C10M1 и др.). Преимуществом отечественных хладагентов является их относительная дешевизна и возможность использования без изменения конструкции холодильной машины и замены масла. Однако у этих смесей существует ряд недостатков. В состав смесевых хладагентов на основе R22 нередко входят дорогостоящие компоненты-фреоны. Применение таких смесей, несмотря на относительно высокую стоимость, перспективно в



холодильных машинах малой производительности (холодильниках, например), где масса заправки составляет 100-150 грамм и не превышает 5% от общей стоимости холодильного аппарата. Поэтому применение смеси R22/RC318 может быть экономически оправдано при ретрофите холодильных машин малой производительности. Для ретрофита холодильных машин большей производительности на Кирово-Чепецком химическом комбинате была предложена смесь “Экохол-3” (R22(40%)/RC318(12%)/R142b(48%)), где для снижения концентрации дорогостоящего RC318 введен третий компонент – R142b. Но эксплуатационные и термодинамические характеристики “Экохол-3” не были исследованы. Проблемой является также пожароопасность отдельных компонентов смесевых хладагентов (R142b). Смесей, включающие этот компонент, как правило, имеют невысокую стоимость, но, при возможной утечке негорючего компонента концентрация горючего компонента увеличивается, и может возникнуть пожароопасная ситуация.

С другой стороны, решения Киотского протокола, ограничивающие применение фреонов в холодильной технике и новая редакция ГОСТа России, допускающая использование углеводородов в качестве хладагентов, открывают новые возможности для применения углеводородов в холодильных машинах малой производительности, где масса заправки мала. Однако в нашей стране опыт применения углеводородов, в частности диметилового эфира (ДМЭ), в холодильной технике ограничен, а возможность их применения в холодильных машинах практически не исследована. Работы по применению ДМЭ проводятся в МГТУ им Н.Э.Баумана несколько лет. Из чистых веществ вместо R12 возможно применение только изобутана R600a ($t_s = -11,7^\circ\text{C}$), поэтому его использование в морозильниках ($t_0 = -18 \dots -25^\circ\text{C}$) исключено. С другой стороны, ДМЭ может использоваться как дизельное топливо, поэтому его цена должна быть на порядок ниже, чем у других хладагентов.

Целью работы был поиск отечественного недорогого озонобезопасного хладагента, имеющего низкий или нулевой потенциал глобального потепления, который способен заменить R12 в действующем холодильном оборудовании без существенного изменения конструкции холодильной машины и замены масла: сервисные смеси на основе R22 и чистое вещество ДМЭ.

Задачи исследования, решаемые в ходе работы:

1. Определение необходимой концентрации компонентов в смеси R22/RC318 с целью получения давления нагнетания, холодопроизводительности и холодильного коэффициента на уровне R12; получение экспериментальных термодинамических характеристик холодильного цикла, подтверждающих

возможность использования данной смеси в холодильной технике.

2. Экспериментальное исследование с целью улучшения термодинамических и эксплуатационных характеристик смеси «Экохол-3» ($R22(40\%)/RC318(12\%)/R142b(48\%)$) путем увеличения концентрации $R22$.
3. Экспериментальное исследование нового экологически безопасного углеводородного хладагента диметилового эфира (ДМЭ) в аппаратах бытовой холодильной техники, в частности, бытовых морозильниках путем подбора оптимальной массы заправки ДМЭ, а также оптимизация длины капилляра с целью снижения потребления электрической энергии.

Методы исследования. Экспериментальные: исследована работа хладагентов-смесей на основе $R22$, $RC318$ и $R142b$ в цикле холодильной машины на калориметрическом стенде; экспериментальное подтверждение возможности использования ДМЭ в качестве хладагента для бытового морозильника.

Научная новизна:

1. Получены новые результаты сравнительного экспериментального исследования характеристик холодильной машины при работе на $R12$ и смесях $R22/RC318$ с различной концентрацией $R22$, а также на смеси «Экохол-3».
2. Предложена новая смесь «Экохол-МГТУ» и проведены эксперименты, подтвердившие, что холодопроизводительность, работа компрессора и холодильный коэффициент не уступают аналогичным величинам для хладона $R12$.
3. Получены новые результаты экспериментального исследования бытового морозильника при работе на диметиловом эфире (ДМЭ): определена оптимальная масса заправки ДМЭ, оптимизированы энергетические характеристики бытового морозильника при изменении длины капилляра.

Практическая значимость.

1. Предложенная смесь $R22/RC318$ (с концентрацией $R22$ 50% массовых) является эквивалентной альтернативой $R12$ без замены масла.
2. Предложенная смесь «Экохол-МГТУ» (с концентрацией $R22$ 50% массовых) является эквивалентной альтернативой $R12$ без замены масла.
3. Определена оптимальная масса заправки бытового морозильника Stinol-106 при использовании ДМЭ в качестве хладагента. При этом уровень удельного энергопотребления снизился на 10...14% по сравнению с $R12$. Найдено оптимальное сочетание длины

капилляра и массы заправки ДМЭ для аппарата Stinol-106, при котором удельное энергопотребление минимально.

Апробация работы. Сделано 2 доклада на Международных научно-технических конференциях в Санкт-Петербурге: («Природные холодильные агенты – альтернатива глобальному потеплению» 2003 г. и «Айс-сларри и однофазные хладоносители» 2004 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано три статьи в научных журналах.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы (74 наименования). Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц и 45 рисунков.

Содержание работы.

Во введении подчеркивается актуальность проблемы перевода холодильной техники на экологически безопасные хладагенты, формулируются цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность данного исследования.

В первой главе рассмотрены характеристики большинства хладагентов, используемых в настоящее время в холодильных машинах малой производительности. Проведен анализ основных требований к альтернативным хладагентам, а также оценены перспективы их применения в качестве замены R12 в свете требований Монреальского протокола и Киотского соглашения. Рассмотрены проблемы применения хладагентов-углеводородов в бытовых холодильных приборах. Особо отмечены отечественные заменители, более дешевые, чем импортные.

Анализ научно-технической литературы показал сложность адекватной замены R12. И зарубежные, и отечественные хладагенты не отвечают всем требованиям, которые предъявляет современная холодильная техника; экономическое применение этих хладагентов для ретрофита оборудования, работающего на R12, оправдано далеко не всегда. Отсутствуют данные об использовании ДМЭ в бытовой холодильной технике.

На основе анализа литературных данных были сформулированы задачи исследования.

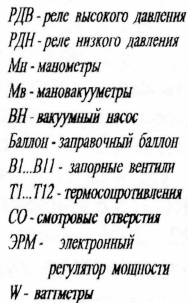
Вторая глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию характеристик цикла холодильной машины при работе на бинарных смесях R22/RC318 и тройных смесях R22/RC318/R142b («Экохол-3» и «Экохол-МГТУ»). В главе приведено описание калориметрического стенда, методика проведения эксперимента, результаты испытаний и их анализ.

Первым этапом работы стало определение концентрации R22 в смеси R22/RC318, при которой давление конденсации смеси было бы равно давлению конденсации чистого R12. Для идеальной смеси эта концентрация составила 27% массовых. С учетом найденных в литературе данных об отрицательном отклонении свойств смеси от идеальности, концентрация R22 в смеси была повышена до 47% массовых, при этом давление конденсации осталось равным давлению для R12. С учетом этих же данных была проведена оптимизация смеси «Экохол-3» и рекомендовано повысить концентрации R22 с 40% масс. до 50% масс., что увеличивает холодопроизводительность смеси.

Экспериментальное определение реальных параметров холодильного цикла: холодопроизводительности, мгновенной потребляемой мощности и реального холодильного коэффициента при работе на новом озонобезопасном холодильном агенте и сопоставление с аналогичными параметрами при работе на фреоне R12 при тех же температурах охлаждения и конденсации производилось на экспериментальном калориметрическом стенде.

Схема стенда имеет вид замкнутого контура (рис. 1), который включает в себя герметичный смазываемый одноступенчатый поршневой компрессор. В ходе экспериментальных исследований цикла выполнялись измерения следующих параметров: давления нагнетания, всасывания и в объеме калориметра; температуры: нагнетания, всасывания, входа и выхода хладагента в конденсатор, входа и выхода воды в конденсатор, входа и выхода хладагента в испаритель, прямого и обратного потоков на входе и выходе из рекуперативного теплообменника, корпуса компрессора; электрической мощности компрессора; электрической мощности, подводимой к нагревательным элементам калориметра. Измерения выполнялись с помощью комплекса, предназначенного для сбора и обработки информации в ходе эксперимента. Измерительный комплекс содержит: модуль аналого-цифрового преобразования Крейт КАМАК, датчики температуры, датчики давления, компьютер IBM PC/AT 486.

Для сравнительного исследования холодопроизводительности цикла на хладагентах R12 и смеси R22/RC318 были выбраны режимы с температурой охлаждения -5 , -15 , -25°C и температурой конденсации 30°C . Исследовалась смесь R22/RC318 с концентрацией R22 39% массовых и смесь с концентрацией R22 50% массовых (рис. 2). Также было исследовано влияние рекуперации теплоты в холодильном цикле.



При испытаниях холодильной машины на смеси состава R22/RC318(39%/61%) потребляемая мощность компрессора ниже, чем при работе на фреоне R12 в среднем на 12%, холодопроизводительность меньше в среднем на 5%, холодильный коэффициент ниже в среднем на 10%. Поскольку процесс кипения смеси неізотермичен, то за температуру кипения принята $T_{\text{ср}} = (T_1 + T_4)/2$, где T_1, T_4 – соответственно температуры начала и окончания кипения.

При испытаниях смеси R22/RC318 (50%/50%) машина также была работоспособна во всем диапазоне температур кипения от -5 до -25°C . Повышение концентрации низкокипящего компонента привело к увеличению холодопроизводительности цикла на смеси (в среднем на 15% по сравнению с R12) и увеличению холодильного коэффициента (в среднем на 9%), а также к росту мощности компрессора. Она превысила потребляемую мощность машины при работе на R12 в среднем на 6%. Исследование влияния рекуперации проводилось для бинарной смеси концентрации R22/RC318(39%/61%). При работе на бинарной смеси применение рекуперативного теплообменника привело к увеличению холодопроизводительности в среднем на 9% при незначительном увеличении работы сжатия, и, следовательно, к увеличению холодильного коэффициента (при $t_0 = -5^{\circ}\text{C}$ повышение холодильного коэффициента на 4%; при $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$ повышение холодильного коэффициента на 12%).

Из результатов исследования можно сделать вывод, что при замене хладона R12 на смесь R22/RC318 в целях обеспечения паспортной холодопроизводительности необходима смесь с концентрацией R22 не ниже 40..45% массовых; это не приводит к увеличению давления нагнетания, замене масла и изменению компрессора.

Для испытаний хладонов R12 и “Экохол-3” были выбраны режимы с температурой охлаждения $-5, -15, -25^{\circ}\text{C}$ при температуре конденсации 30°C (рис. 3). Холодопроизводительность цикла на смеси “Экохол-3” оказалась ниже, чем при работе на R12 в среднем на 20%, а мощность, потребляемая компрессором ниже, чем у R12 в среднем на 12%. Холодильный коэффициент цикла при работе на смеси также оказался ниже в среднем на 12%, чем при работе на R12.

Снижение давления конденсации у смеси “Экохол-3” по сравнению с R12 на 7-8% и мощности, потребляемой компрессором (до 15% на режиме охлаждения -25°C) показало, что возможно увеличение концентрации R22 в смеси “Экохол-3” до 50% массовых, при сохранении давления конденсации, как у R12 – смесь «Экохол-МГТУ». Для испытания “Экохол-МГТУ” были выбраны режимы с температурой охлаждения $-5, -15, -25^{\circ}\text{C}$ и температурой конденсации 30°C .

Холодопроизводительность цикла на новой смеси при температуре охлаждения -5°C ниже холодопроизводительности чистого R12 на 3,5%, а температурах охлаждения -15°C , -25°C превышает холодопроизводительность чистого R12 на 5%.

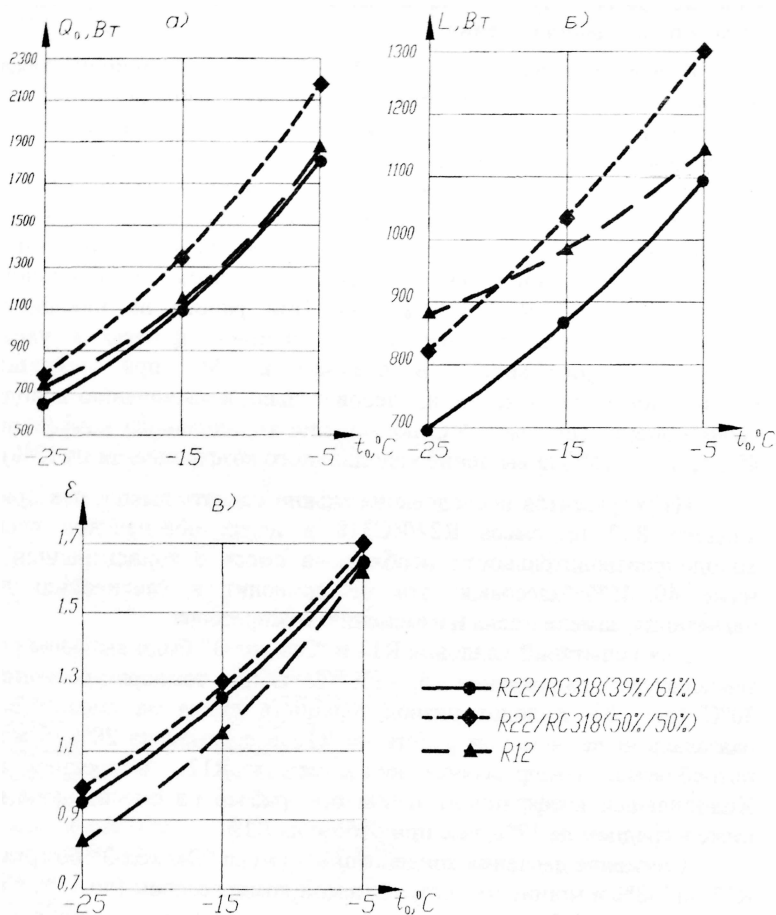


Рис. 2. Экспериментальные характеристики цикла на бинарных смесях и R12 (а – холодопроизводительность, б – мощность компрессора, в – холодильный коэффициент) при температуре конденсации $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ (без регенерации).

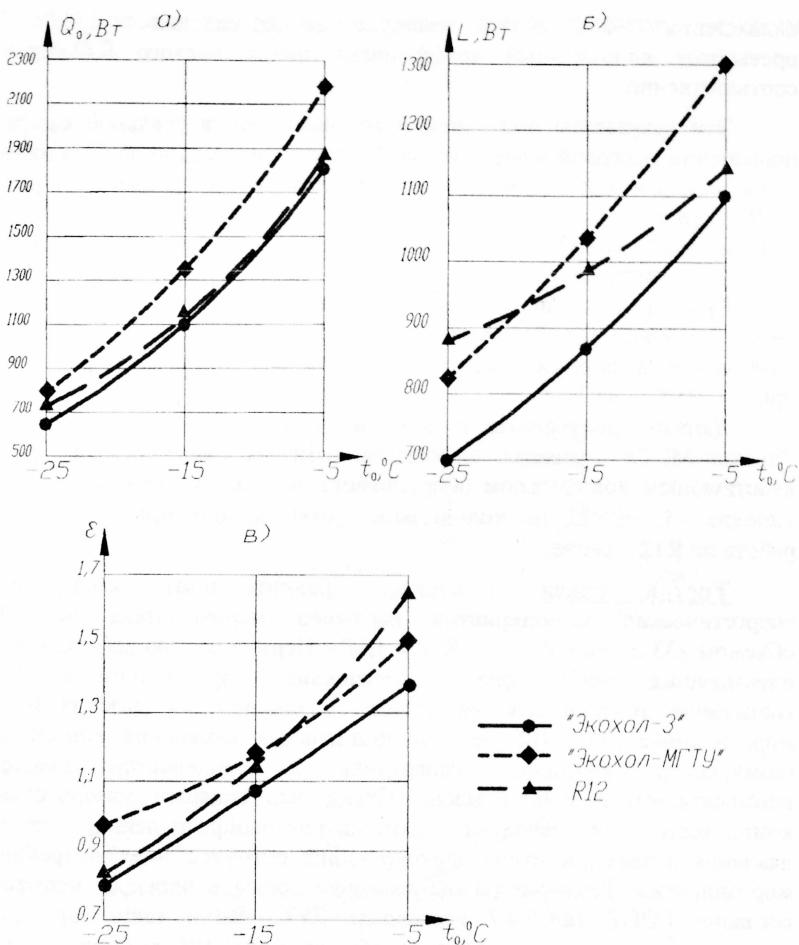


Рис. 3. Экспериментальные характеристики цикла на тройных смесях и R12 (а – холодопроизводительность, б – мощность компрессора, в – холодильный коэффициент) при температуре конденсации $t_*=30^\circ\text{C}$ (без регенерации).

Мощность, потребляемая компрессором при работе на смеси “Экохол-МГТУ” превышает мощность, потребляемую в цикле на чистом R12 не более чем на 6% при температурах охлаждения -5°C , -15°C , а при температуре охлаждения -25°C ниже мощности, потребляемой в цикле на чистом R12 на 13%. Холодильный коэффициент цикла на испытываемой смеси оказался на 9% ниже, чем у цикла на R12 при температуре

охлаждения -5°C , а при температурах охлаждения -15°C , -25°C превышает холодильный коэффициент цикла чистого R12 до 14% соответственно.

Эти результаты подтвердили тот факт, что в реальной смеси при повышении массовой концентрации R22 приблизительно до 50% давление конденсации в цикле практически не изменяется по сравнению с работой на R12, но при этом холодопроизводительность, мощность компрессора и холодильный коэффициент превышают характеристики холодильной машины на чистом R12.

При испытании смеси «Экохол-МГТУ» с использованием рекуперативного теплообменника наблюдалось повышение холодильного коэффициента на режиме при $t_0 = -5^{\circ}\text{C}$ – на 6%; при $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$ – на 9%, а при $t_0 = -25^{\circ}\text{C}$ – на 3%.

Данные, полученные в ходе эксперимента, показали, что смесь “Экохол-МГТУ” является адекватной заменой озоноразрушающему R12 в действующем холодильном оборудовании во всем интервале температур кипения $-5 \dots -25^{\circ}\text{C}$, но холодильный коэффициент при $t_0 > -15^{\circ}\text{C}$ при работе на R12 – выше.

Третья глава посвящена сравнительному исследованию энергетических характеристик бытового морозильника Stinol-106, объемом 233 л при работе на R12 и ДМЭ. Первой частью работы являлась оптимизация массы заправки морозильника при работе на ДМЭ. Испытания проводились на стенде, созданном на базе серийного морозильника Stinol-106 без принципиальных изменений конструкции (компрессор, капилляр, испаритель и конденсатор заводской комплектации) и замены масла. Стенд был оснащен измерительным комплексом, включающим датчики-термосопротивления, датчики давления и электросчетчик, фиксирующий суточное энергопотребление морозильника. Температура окружающей среды в процессе испытаний согласно ГОСТ 16317-87 составляла 25°C . Были также проведены испытания для проверки работоспособности Stinol-106 при максимальной температуре окружающей среды 32°C . Температура морозильной камеры в процессе эксперимента поддерживалась -24°C . Целью испытаний являлось определение оптимальной массы заправки морозильника, обеспечивающей минимальный суточный расход электроэнергии и сравнение с соответствующими показателями R12. В проведенных экспериментах в результате прямых измерений определяются избыточное давление по манометрам, атмосферное давление по барометру, падение напряжения на термометрах сопротивления, электрическая мощность ТЭНов, мощность, потребляемая компрессором. Точность замера температуры составила 0,2 К, давления – 0,01 Мпа. Электрическая мощность измерялась прибором К50, класс точности – 0,5, суточное

энергопотребление измерялось бытовым электросчетчиком с классом точности 2,5.

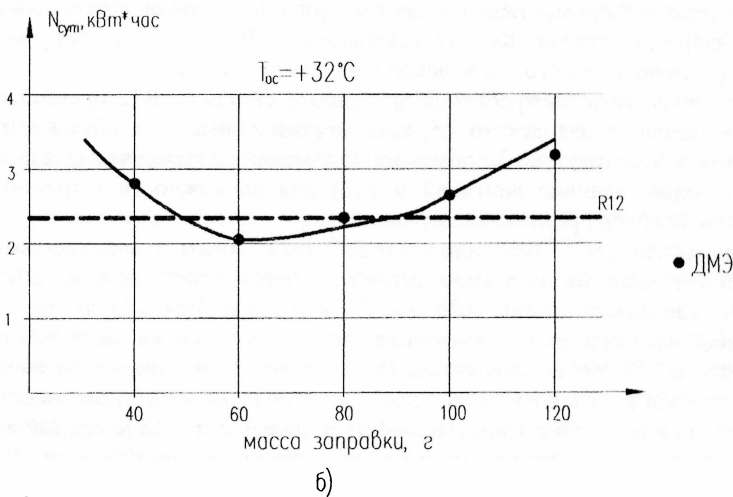
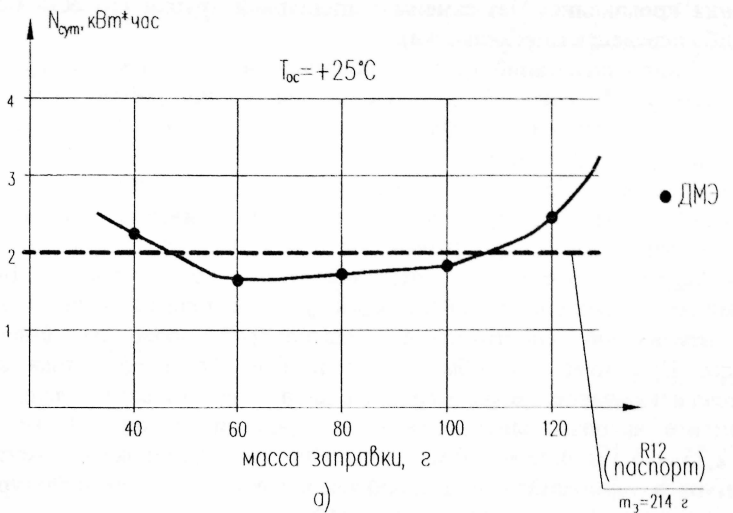


Рис.4. Зависимость суточного энергопотребления морозильника от массы заправки ДМЭ при $T_{\text{мк}} = -24^{\circ}\text{C}$ (а - $t_k = 25^{\circ}\text{C}$, б - $t_k = 32^{\circ}\text{C}$).

При проведении эксперимента выяснилось, что оптимальная масса заправки ДМЭ составила 70 грамм (паспортная заправка R12 – 214 г). Испытания проводились без замены капиллярной трубки (то есть без каких-либо переделок морозильника).

Результаты испытаний (рис. 4) показали, что при температуре в морозильнике -24°C суточное потребление энергии при работе на ДМЭ ниже, чем на R12: при температуре окружающей среды 25°C на 15%, а при температуре окружающей среды 32°C на 13%.

Дальнейшая работа была продолжена в направлении подбора оптимальной длины капилляра в целях дальнейшего снижения суточного расхода электроэнергии при работе на ДМЭ. Подбор производится методом перебора сочетаний длины капилляра и дозы заправки. Для этого был создан экспериментальный стенд на базе морозильника Stinol-106 с измененной конструкцией, позволившей проводить смену капилляра. При этом теплообмен капилляра и обратного потока из испарителя исключался, т.е. регенерация в цикле отсутствовала. В данном эксперименте использовались пять капилляров диаметром 0,8 мм и длиной 2,25 м, 3,5 м, 4,75 м, 6,0 м, 7,25 м. При проведении эксперимента температура в термокамере поддерживалась равной 25°C , температура внутри морозильной камеры составляла -18°C .

Суточное энергопотребление R12, составившее 2,4 кВт·ч/сут (рис. 5), получено экспериментальным путем при определении оптимальной массы заправки стенда R12 (составившей 240 г) при применении капилляра, используемого в заводской комплектации (3,5 м).

Суточное энергопотребление при работе стенда на R12 превышает этот показатель у заводского образца морозильника, что объясняется внесением в конструкцию морозильника изменений (увеличение длины трубопроводов, наличие вентилей и т.д.) для возможности испытания капиллярных трубок различной длины.

Эксперименты показали (рис. 5), что капиллярами, обеспечивающими минимальное суточное энергопотребление на ДМЭ являются капилляры длиной 4,75 м, 2,25 м и 3,5 м. При использовании этих капилляров суточное энергопотребление морозильника снизилось по сравнению с R12 соответственно на 10% и менее. При этом оптимальная масса заправки изменялась от 80 г до 100 г. Удельное энергопотребление морозильника на ДМЭ с капиллярами длиной 6,0 м и 7,25 м превышает этот показатель при использовании R12 соответственно на 12% и на 14%. Таким образом оптимальным для данной системы при работе на ДМЭ является капилляр длиной 4,75 м (диаметр 0,8 мм).

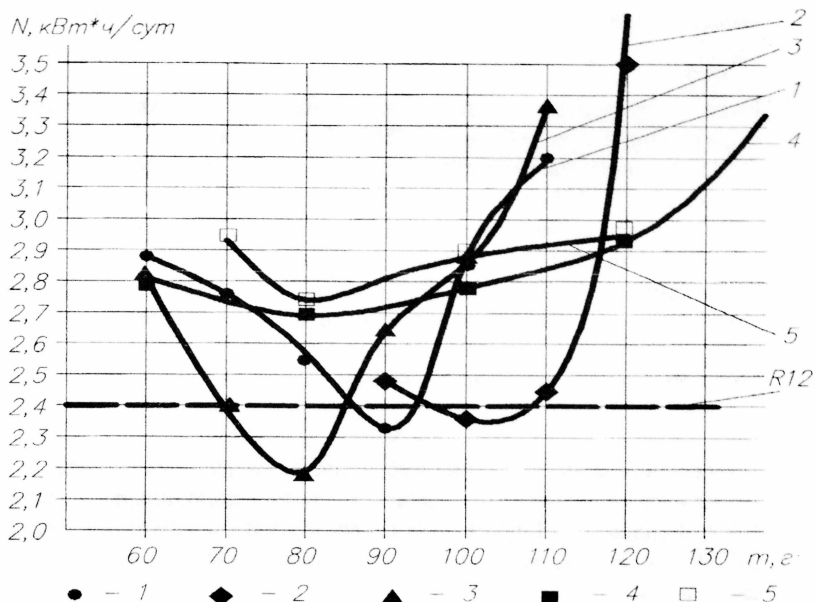


Рис. 5. Зависимость суточного энергопотребления морозильника Stinol-106M в зависимости от массы заправки ДМЭ при различных значениях длины капилляра (1 – 2,25 м, 2 – 3,5 м, 3 – 4,75 м, 4 – 6,0, 5 – 7,25 м)

Основные результаты и выводы.

1. Экспериментальное сравнение основных термодинамических характеристик циклов на R12 и смеси R22/RC318 показало, что для адекватной замены R12 концентрация R22 в смеси должно быть не ниже 40...45% массовых. При этом холодильный коэффициент цикла на смеси по сравнению с циклом на R12 возрастает на 2...16%.
2. На основе данных об отрицательном отклонении давления конденсации от идеальности в реальной смеси, концентрация R22 в «Экохол-3» повышена с 40% до 50%, при соответствующем уменьшении концентрации других компонентов.
3. Экспериментальные исследования новой смеси, получившей название «Экохол-МГТУ» показали, что смесь является адекватной заменой R12. Холодильный коэффициент цикла на «Экохол-МГТУ» близок к аналогичному показателю цикла на R12. На основании

вышесказанного, можно рекомендовать смеси R22/RC318 и «Экохол-МГТУ» как сервисные при ретрофите холодильного оборудования на R12.

3. Была определена оптимальная масса заправки бытового морозильника при работе на ДМЭ. Она составила 70 г, при этом суточное энергопотребление по сравнению с работой на R12 повысилось на 15% при температуре охлаждения -24°C . Результаты эксперимента доказывают перспективность использования ДМЭ в качестве хладагента для бытовой холодильной техники.
4. Проведена экспериментальная оптимизация длины капиллярной трубки бытового морозильника на ДМЭ. При этом оптимальная длина капилляра составила 4,75 м (3,5 для R12). Энергопотребление по сравнению с R12 снизилось на 9%.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Диметиловый эфир – рабочее тело холодильных машин / А.А.Жердев, С.Д.Глухов, А.В.Поляков, А.В.Шарабурин // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Машиностроение. – 2002. – Специальный выпуск. – С. 55-62.
2. Глухов С.Д., Шарабурин А.В., Королев В.Г. Исследование смеси R22/RC318/R142b для замены озонорасщепляющего хладагента R12. // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Машиностроение. – 2002. – Специальный выпуск. – С. 62-71.
3. Использование диметилового эфира как моторного топлива и хладагента / А.М.Архаров, С.Д.Глухов, А.В.Шарабурин и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – №6. – С. 17-21.

№1680442
Шарабурин А.В.
Исследование диметилового
эфира и смесей хладонов
R22, RC318 и R142b для
замены R12 в промышленн...
2004 0-00

1680442

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Подписано к печати 11 мая 2004 г.

· · · Объем 1 п/л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская улица, дом 5.