

1575847

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

Поляков Андрей Владимирович

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА В КАЧЕСТВЕ
РАБОЧЕГО ТЕЛА ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ДИЗЕЛЬНЫХ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ.**

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

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2001

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

Научный руководитель: — кандидат технических наук,
доцент Глухов Станислав Дмитриевич

Официальные оппоненты: — доктор технических наук,
профессор Калнинь Игорь Мартынович
— кандидат технических наук, с.н.с.
Макаров Борис Анатольевич

Ведущая организация: ОАО «ВНИИХОЛОДМАШ-Холдинг».

Защита диссертация состоится «21» января 2002 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, Фрунзенская наб., д. 1, корпус факультета

дном экземпляре, заверенный печатью,

ться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1575847

Поляков А.В. Применение ди

Совета,

С.Д. Глухов С.Д.

1575847

Объем 1,0 печатный лист.

ипография МГТУ

Актуальность темы. Одной из важных задач, стоящих перед холодильной

техникoй всего мира, является поиск замены хладагентам хлорфторсодержащего класса для использования в холодильных установках, в том числе транспортных. К этой замене обязывают условия Монреальского протокола и других международных соглашений. Другой, не менее важной задачей является снижение токсичности выбросов двигателей транспорта и энергетических установок, поиск альтернативных видов топлив для двигателей внутреннего сгорания – дизелей. При этом был проявлен интерес к диметилowому эфиру (ДМЭ). В данном случае ДМЭ может быть применен одновременно в качестве топлива и хладона. Это обстоятельство позволяет использовать хладоресурс ДМЭ и снизить эксплуатационные расходы путем полного отказа от заправки фреонами холодильной машины авторефрижератора.

Испытания ДМЭ в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей за границей и нашей стране показывают, что использование ДМЭ открывает новые возможности: повышение термического КПД, свержистый выхлоп отработавших газов и снижение шумности двигателя. Выброс окислов азота и альдегидов – ниже норм EURO-3, шумность снижается на 15 дБ(А), наличие кислорода (химическая формула ДМЭ – CH_3OCH_3) позволяет получить выхлоп без сажи при сгорании. Стоимость получения в промышленных масштабах ДМЭ из метана несколько выше, чем дизельного топлива, но ниже, чем бензинового топлива (при существующей цене на нефть). Низкий уровень токсичности отработавших газов не требует нейтрализации выхлопа.

ДМЭ в качестве хладагента имеет ряд положительных качеств. Он практически эквивалентный заменитель хладона R-12. ДМЭ имеет температуру кипения при атмосферном давлении $-24,8^\circ\text{C}$, т.е. она близка к R-12 ($-29,74^\circ\text{C}$). Хранится и транспортируется ДМЭ так же, как сжиженный нефтяной газ (пропан-бутановая смесь), под давлением 0,5...0,7 МПа при температуре окружающей среды. Как хладагент ДМЭ известен с XIX века, но был вытеснен появившимся аммиаком. Удельная скрытая теплота испарения (массовая) у ДМЭ в 3 раза больше по сравнению с хладоном R12, и в 2 раза больше по сравнению с R22 и имеет величину, как у пропан-бутановой смеси ($\gamma = 450$ кДж/кг). Объемная холодопроизводительность ДМЭ приблизительно совпадает с данной величиной R12, поскольку плотность пара ДМЭ приблизительно в 3 раза меньше плотности пара R12. Стоимость ДМЭ – на порядок ниже хлорфторуглеродов (ХФУ) уже сейчас. Недостаток – горючесть – не столь существенен, если ДМЭ используется как топливо и залит в баке автомобиля. По имеющимся многочисленным данным ДМЭ не токсичен.

ДМЭ в настоящее время широко используется как пропеллент. Для его применения как топлива должны быть созданы технологии массового производства на существующей производственной базе. В нашей стране и за рубежом ведутся интенсивные работы в этом направлении, и задача вскоре будет решена. По последним данным японская корпорация "Нихон КоКан" предлагает построить в 2002 году первую очередь завода по производству ДМЭ производительностью 550 тыс. т в год в Углегорском или Александровск-

1575847

3

Сахалинском районе. Возможности производства ДМЭ на предприятии «Азот» в г. Новомосковске составляют на сегодняшний день $4000 \div 10000$ т/год. Для сравнения – объем производства R-12 в период его массового потребления (в середине 70-х годов) достиг 340 тыс. тонн в год, из которых 27 тыс. тонн предназначалось для холодильных систем. Новая технология одноступенчатого синтеза ДМЭ разработана в РФ профессором Розовским А. Я. (в НИИ НХС АН РФ). Особенно важен переход на ДМЭ в городах, в том числе в г. Москве.

Кафедра Э-4 МГТУ им. Баумана имеет опыт создания холодильных установок для авторефрижераторов, в которых используется хладоресурс моторного топлива (пропан-бутановой смеси), т.е. топливо используется как хладагент в холодильной установке автомобиля-рефрижератора.

Цель данной работы состоит в исследовании ДМЭ как холодильного агента и возможности его применения в холодильной установке дизельного авторефрижератора, использующего диметиловый эфир в качестве топлива.

Задачи исследования.

1. Изучение термодинамических свойств ДМЭ и построение «lnp-i» диаграммы для расчета холодильных циклов для холодильных машин с воздушным охлаждением конденсатора.
2. Анализ и обобщение имеющихся данных о переносных свойствах ДМЭ, позволяющих анализировать работу теплообменных аппаратов.
3. Проверка растворимости ДМЭ в минеральном масле.
4. Экспериментальное исследование работы ДМЭ в холодильной установке на режимах охлаждения при $t_0 = -25 \dots -55^\circ\text{C}$ и температурах конденсации $t_k = 25 \dots 55^\circ\text{C}$, а также влияния рекуперации теплоты в холодильном цикле.
5. На основании полученных результатов оценить возможность практического применения ДМЭ в качестве озонобезопасного хладагента в холодильной машине дизельного авторефрижератора, использующего ДМЭ как экологически чистое топливо.

Методы исследования. Применялись теоретические и экспериментальные методы исследования свойств ДМЭ и циклов холодильной установки, использующей ДМЭ в качестве рабочего тела. Экспериментальные исследования ДМЭ проводились на стенде-калориметре в цикле холодильной машины.

Научная новизна.

1. Построена диаграмма состояния «lnp-I» и получены данные о термодинамических свойствах диметилового эфира в диапазоне температур $-80 \dots +80^\circ\text{C}$.
2. Для модифицированного уравнения состояния Редлиха-Квонга определены параметры $a(T)$ и b , соответствующего ДМЭ.
3. Проведен анализ холодильных циклов, использующих ДМЭ как рабочее тело, при температурах конденсации $25 \dots 55^\circ\text{C}$ и температуре испарения $-25 \dots -55^\circ\text{C}$, получены значения холодопроизводительности, работы компрессора и холодильного коэффициента теоретических циклов, близкие к аналогичным величинам для хладона R-12.

4. Проведены экспериментальные исследования холодильной машины на ДМЭ, которые подтвердили, что холодопроизводительность, работа компрессора и холодильный коэффициент близки к аналогичным величинам для хладагона R12.
5. На основе ограниченных данных о переносных свойствах ДМЭ получены температурные зависимости динамической вязкости, теплопроводности, поверхностного натяжения ДМЭ. Используя эти зависимости, выполнен сравнительный анализ теплообмена в аппаратах транспортной холодильной машины и гидравлических потерь в них при работе на ДМЭ и R12.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты подтвердили возможность использования хладагента-топлива ДМЭ в транспортных холодильных установках. Эксплуатация на ДМЭ компрессорно-конденсаторных агрегатов, предназначенных для работы на R12, возможна без каких-либо переделок и замены масла.

Апробация работы.

Результаты работы были доложены на научно-практической конференции «Приоритетные направления развития городской науки на период до 2005 года» (август 2001, г. Москва).

Публикации. По теме диссертации опубликованы две печатные работы.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (75 наименований). Диссертация изложена на 131 странице машинописного текста, содержит 45 таблиц и 76 рисунков.

Содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель исследований, отмечается важность решаемых в работе задач, показана научная и практическая необходимость проведения настоящего исследования.

В Главе 1 диссертации выполнен анализ опубликованных работ по использованию ДМЭ в качестве экологически чистого топлива и хладагента. Проведен обзор исследований теплотехнических свойств: термодинамических и переносных, а также эксплуатационных свойств ДМЭ.

Анализ литературы показал, что в настоящее время свойства ДМЭ как хладагента исследованы недостаточно. Немногочисленные опытные данные и диаграмма состояния для ДМЭ позволяют рассчитывать холодильные циклы при создании новых холодильных установок в диапазоне температур - 40...+40°C, т.е. нельзя рассчитывать циклы холодильных машин с воздушным охлаждением конденсатора. Имеются некоторые табличные данные по термодинамическим свойствам на линии насыщения.

Литературный обзор показал, что данных по переносным свойствам ДМЭ очень мало, имеются ограниченные экспериментальные данные по вязкости, теплопроводности и поверхностному натяжению ДМЭ, не позволяющие выполнить расчеты теплообменных аппаратов как проектировочные, так и проверочные в рабочем диапазоне температур конденсации и испарения.

Эксплуатационные свойства ДМЭ также недостаточно изучены. Имеются лишь ограниченные данные о взаимодействии с различными материалами. Отсутствуют количественные данные о взаимодействии ДМЭ с холодильными маслами.

На основе анализа сделаны следующие выводы:

- до настоящего времени отсутствует диаграмма состояния ДМЭ для расчетов термодинамических циклов в диапазоне температур $-80...+80^{\circ}\text{C}$;
- отсутствуют в необходимом объеме данные о переносных свойствах ДМЭ, требующиеся для проектирования теплообменных аппаратов новых холодильных машин, а также для проведения поверочных расчетов;
- нет сведений о влиянии рекуперативного теплообменника на эффективность холодильного цикла при его использовании в холодильной машине
- не изучен вопрос растворимости ДМЭ в минеральном холодильном масле.

Поставлены задачи исследования (см. стр.4).

Глава 2 диссертации посвящена теоретическому исследованию термодинамических свойств ДМЭ.

Построена диаграмма состояния для ДМЭ в диапазоне температур $-80...+80^{\circ}\text{C}$ (см рис. 1). Для построения были использованы зависимости для расчета термодинамических свойств, предложенные Бадильесом И.С.

1. Давление жидкости и пара на линии насыщения:

$$\lg \frac{p}{g \cdot 10^4} = 54,7323 - \frac{2445,74}{T} - 20,2387 \lg T + 1,4503 \cdot 10^{-2} T, \text{ Па}$$

где p , Па – давление, T , К – температура.

2. Уравнение состояния:

$$v = \frac{RT}{P} - \frac{C_1 + C_2 P}{\left(\frac{T}{100}\right)^n}, \text{ м}^3/\text{кг}$$

где $C_1=0.566518$, $C_2=4.92094801 \cdot 10^{-7}$, $n=4$ – константы уравнения.

3. Плотность насыщенной жидкости:

$$\rho' = 2 \cdot (348 - 604 \cdot 10^{-3} \cdot t) - \rho''; \text{ кг/м}^3$$

где ρ'' , кг/м^3 – плотность насыщенного пара, t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Расхождения значений давления на линии насыщения полученной диаграммы с имеющимися современными данными не более – 0,3%. Расхождения значений плотности жидкости на линии насыщения не – более 1,4%, скрытой теплоты испарения – не более 3,9% в диапазоне температур $-40...+50^{\circ}\text{C}$.

Определены параметры $a(T)$ и b для модернизированного уравнения состояния Редлиха-Квонга, установлена зависимость параметра a от температуры для ДМЭ.

Диаграмма состояния $\ln P - i$ для диметилового эфира (ДМЭ)

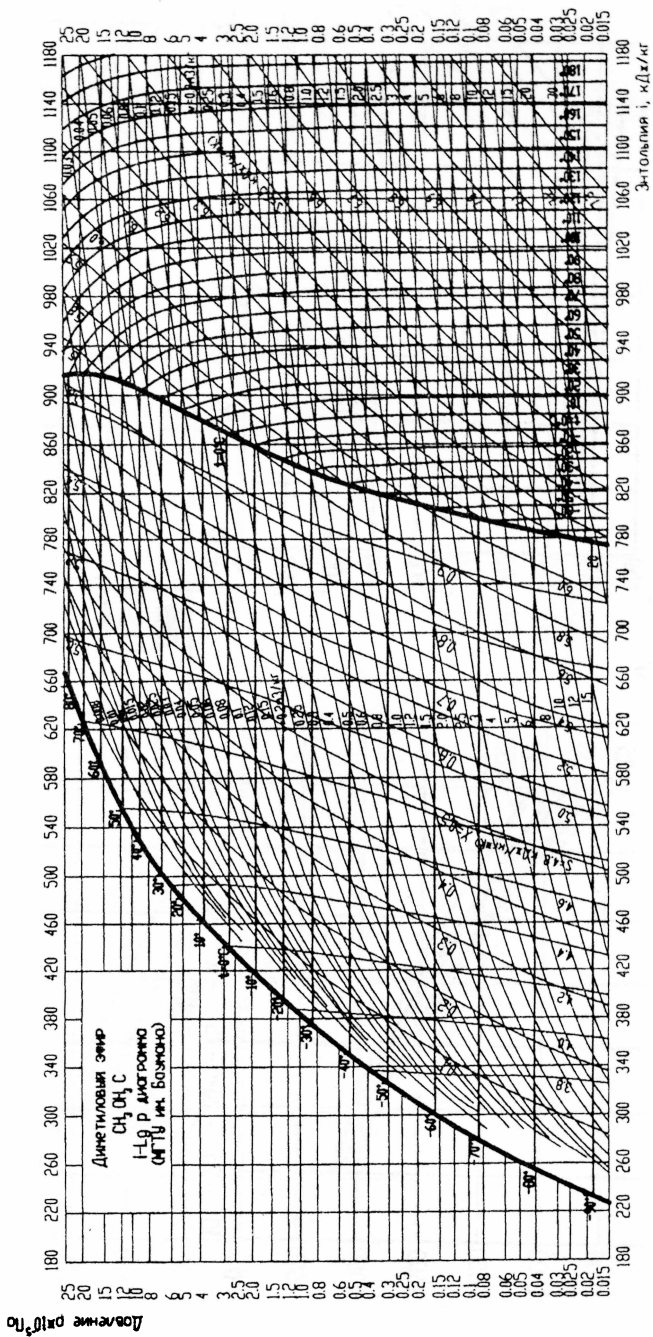
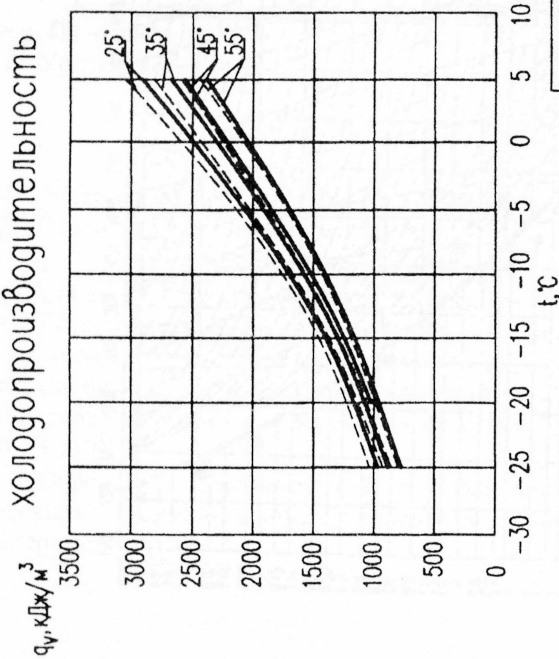


Рис. 1 Диаграмма состояния " $\ln P - i$ " для ДМЭ

Объемная удельная
холодопроизводительность



Удельная массовая
холодопроизводительность

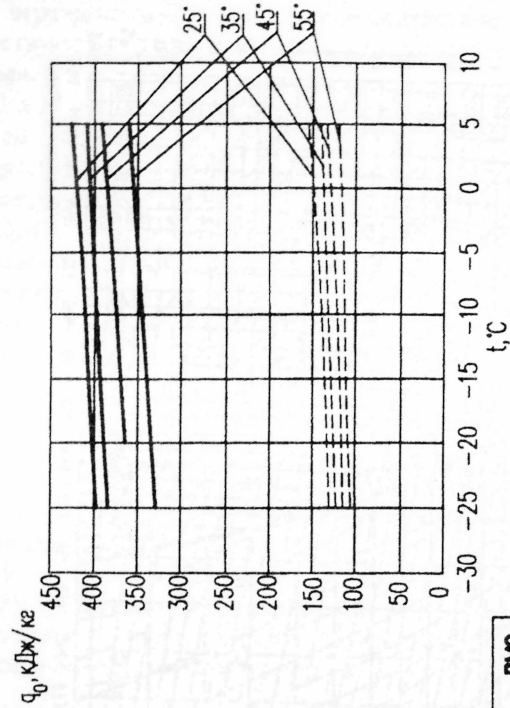
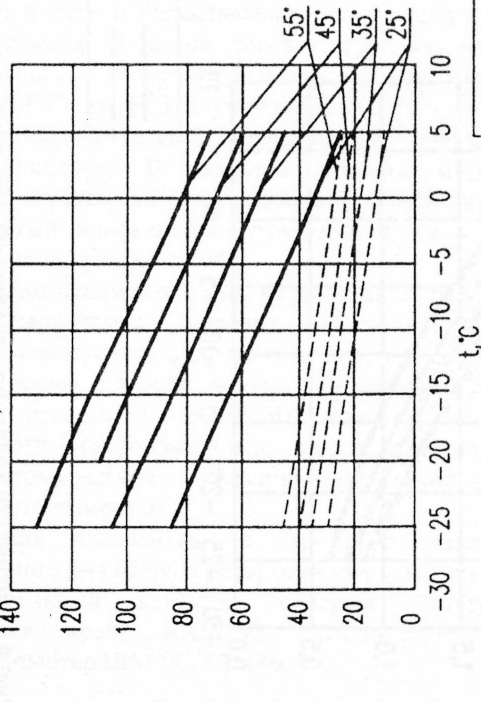


Рис. 2 Зависимости удельной объемной и массовой холодопроизводительности от температуры испарения и конденсации

Удельная адиабатическая
работа сжатия

ε_T

$l, \text{кДж/кг}$



Теоретический холодильный
коэффициент

ε_T

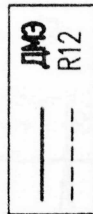
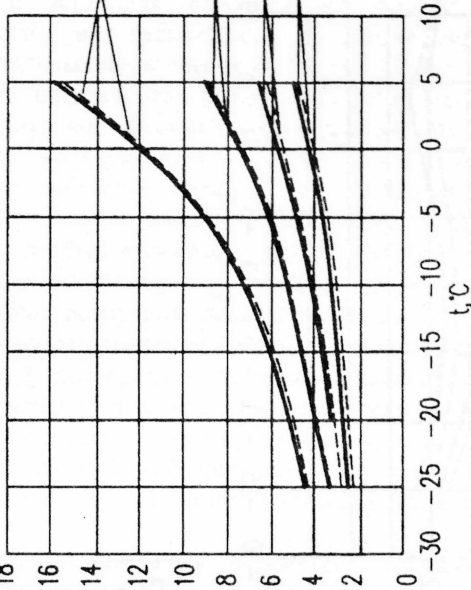


Рис. 3 Зависимости удельной адиабатической работы сжатия компрессора и холодильного коэффициента от температуры испарения и конденсации.

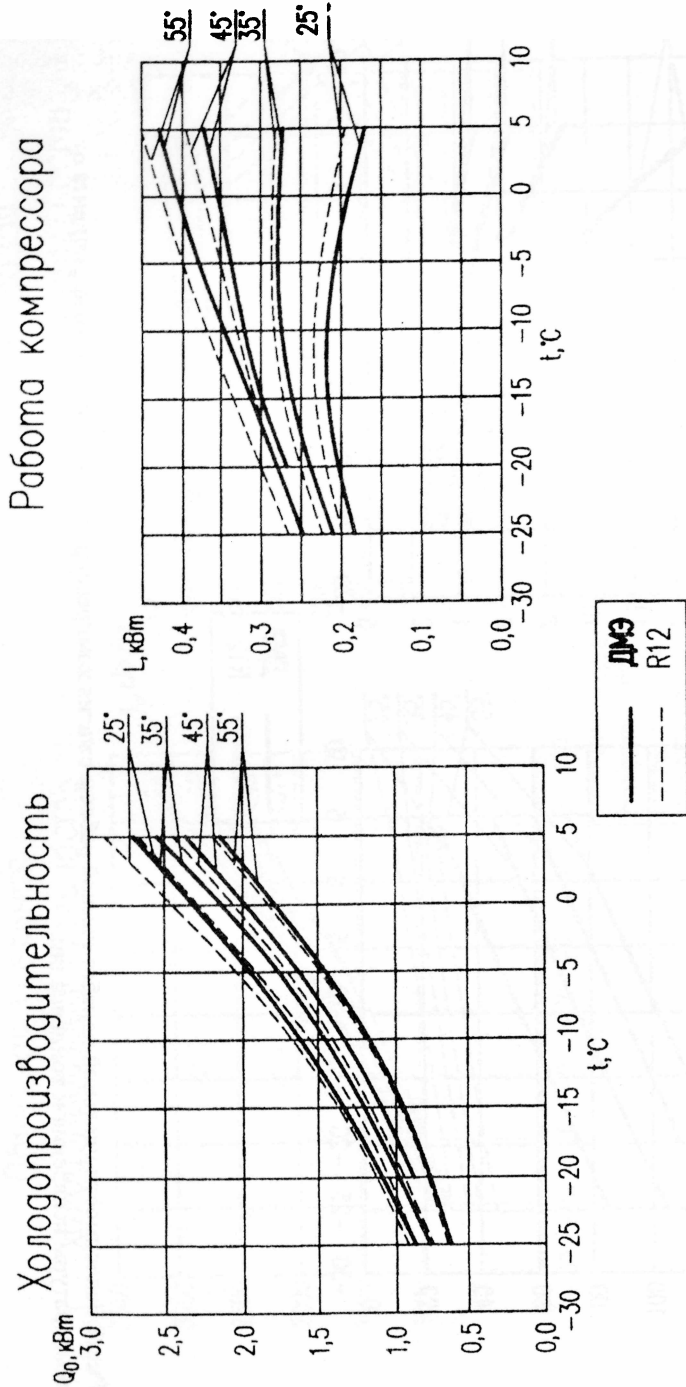


Рис. 4 Зависимости холодопроизводительности и работы компрессора цикла от температуры испарения и конденсации.

Проведен анализ теоретических холодильных циклов для ДМЭ и сравнение с R12 для описываемого объема реального компрессора, используемого в дальнейшем в калориметрическом стенде для экспериментальных исследований.

Анализ показал, что основные характеристики холодильных циклов, такие как удельная объемная холодопроизводительность, холодопроизводительность, удельная адиабатическая работа сжатия компрессора и холодильный коэффициент достаточно близки, что позволяет сделать предварительный вывод о возможности замены R12 на ДМЭ в транспортных холодильных установках. Удельная массовая холодопроизводительность цикла ДМЭ в 3 раза больше аналогичной величины R12 в силу соответствующего отношения скрытых теплот испарения. Анализ рекуперации теплоты в цикле для ДМЭ показал, что использование ее менее эффективно, чем для R12.

Глава 3 диссертации посвящена экспериментальному исследованию рабочих характеристик холодильной установки на ДМЭ в качестве хладагента, сравнения их с теоретическими результатами и вопросу растворимости ДМЭ в минеральном масле. В ней приводятся описание экспериментального стенда-калориметра, методика проведения экспериментов, результаты исследований и их анализ.

Определение реальных параметров холодильного цикла, таких как холодопроизводительность, потребляемая мощность и реальный холодильный коэффициент при работе холодильной машины на новом озонобезопасном холодильном агенте и сопоставление их с аналогичными параметрами при работе на фреоне R-12 на соответствующих режимах произведены на экспериментальном калориметрическом стенде, созданного в лаборатории кафедры Э4 МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 5.).

Пневмогидравлическая система калориметрического стенда имеет вид замкнутого контура. В качестве объекта исследования используется холодильный агрегат, который включает в себя герметичный смазываемый одноступенчатый поршневой компрессор с объемом цилиндра $19,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ и частотой вращения ротора 50 об/с.

В ходе экспериментальных исследований цикла выполнены 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.

Измерения выполнены с помощью измерительного комплекса, предназначенного для сбора и обработки информации в ходе эксперимента.

Измерительный комплекс содержит: модуль аналого-цифрового преобразования крейт КАМАК, датчики-термосопротивления, датчики давления, компьютер IBM PC/AT 486.

Кл - калориметр
РДВ - реле высокого давления

РДВ - реле высокого давления
РДН - реле низкого давления
Мн - манометры
МВ - мановакуумметры
ВН - вакуумный насос
Баллон - заправочный баллон
В1...В11 - запорные вентили
Т1...Т12 - термосопротивления
СО - счетровые отверстия
ЭРМ - электронный регулятор мощности
W - ваттметры

12

Проведены экспериментальные исследования работы ДМЭ в цикле холодильной установки на режимах охлаждения при $t_0 = -25 \dots 5^\circ\text{C}$ и температурах конденсации $t_k = 25 \dots 55^\circ\text{C}$, а также исследовано влияние рекуперации теплоты в холодильном цикле. Установлено, что рекуперативный теплообменник дает незначительное повышение холодопроизводительности и холодильного коэффициента цикла и использование его нецелесообразно в транспортной холодильной установке.

Результаты эксперимента подтверждают выводы теоретического исследования о близости значений характеристик холодильных циклов для ДМЭ и R12: таких как холодопроизводительность, работа компрессора и холодильный коэффициент.

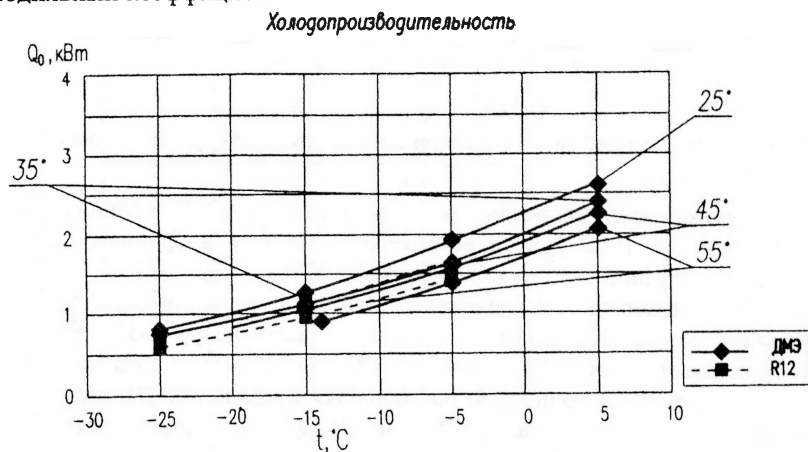


Рис. 6 Зависимость холодопроизводительности цикла от температуры испарения и конденсации

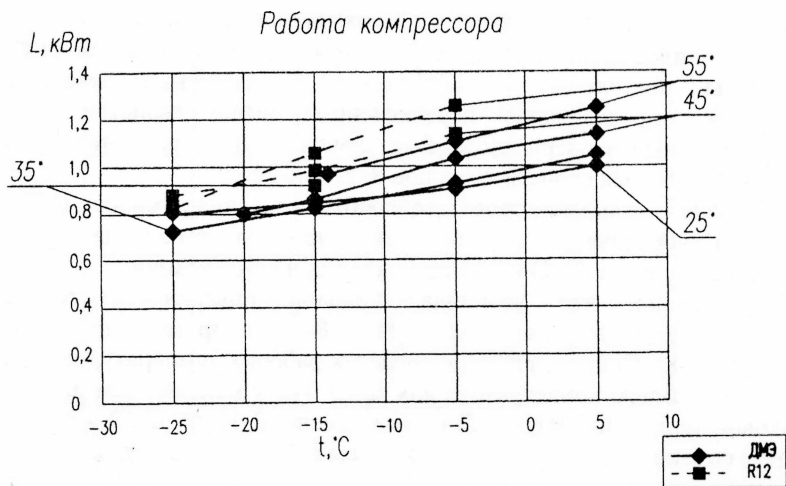


Рис. 7 Зависимость работы компрессора от температуры испарения и конденсации

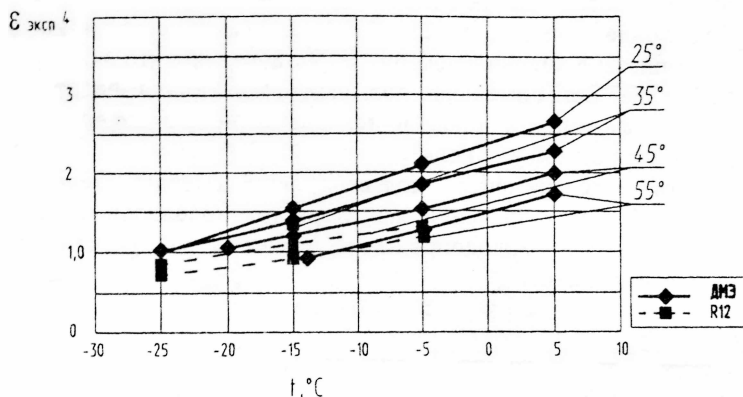


Рис. 8 Зависимость холодильного коэффициента от температуры испарения и конденсации

Холодопроизводительность при использовании ДМЭ меньше, чем при R12 в среднем на 10%, работа компрессора меньше в среднем на 12%, а холодильный коэффициент выше в среднем на 12%.

Экспериментально исследован вопрос растворимости ДМЭ в холодильном масле ХФ-12-16 в диапазоне температур $-30...+60^\circ\text{C}$ при объемной концентрации ДМЭ от 30% до 70% на специально созданном стенде. Установлено, что ДМЭ полностью растворяется в масле при данных условиях и, следовательно, возможна замена R-12 на ДМЭ в холодильной установке без замены масла.

В главе 4 произведен анализ и обобщение имеющихся данных о переносных свойствах ДМЭ: динамической вязкости пара и жидкости, теплопроводности пара и жидкости, поверхностного натяжения, необходимых для расчета теплообменных аппаратов холодильных установок (см. рис. 9÷11). Предложены постоянные коэффициенты в известные температурные зависимости, определяющие перечисленные выше свойства, используя немногочисленные экспериментальные значения. Для сравнения приведены графики аналогичных свойств хладонов R-12 и R-22.

Выполнено сравнение работы теплообменных аппаратов для ДМЭ и R-12: определены теоретические значения коэффициентов теплоотдачи, удельных тепловых потоков для ДМЭ и R12 при кипении и конденсации.

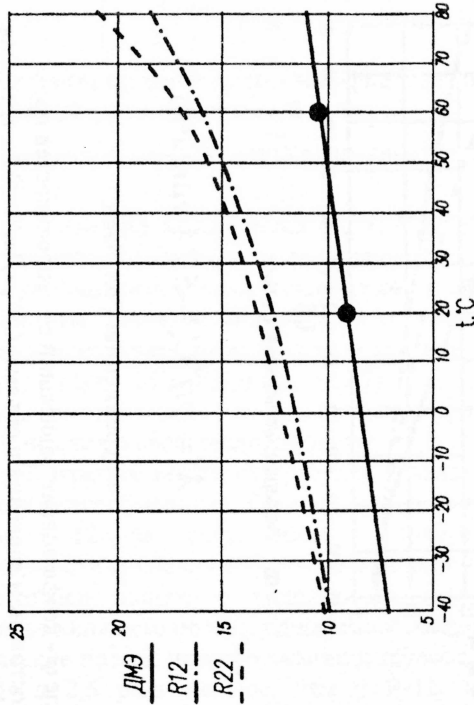
Установлено, что величина площади поверхности теплообмена конденсатора для ДМЭ меньше, чем для R-12 (например, при $t_k = +45^\circ\text{C}$ $F_{R12}/F_{\text{ДМЭ}} = 1,18$). Следовательно, в пределах рабочих температур конденсации габаритные размеры конденсатора для ДМЭ будут меньше, чем для R-12 при одинаковой тепловой нагрузке. В случае замены R-12 на ДМЭ в работающем агрегате конденсатор будет обладать запасом по поверхности теплообменника.

Динамическая вязкость газа ДМЭ

Динамическая вязкость жидкости ДМЭ

η^* , мкПа*с

η' , мкПа*с

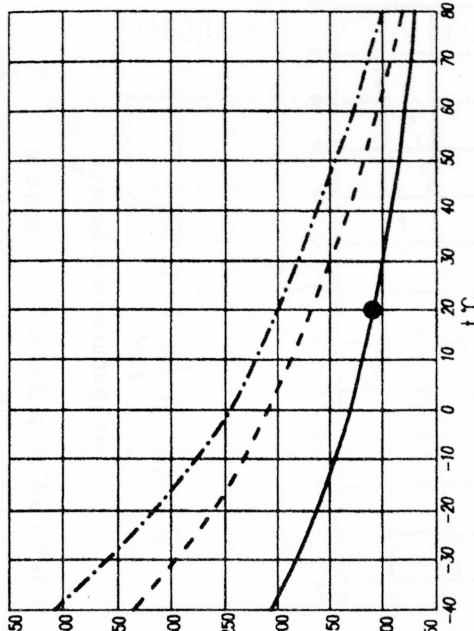


● Экспериментальные данные

$$\eta'' = \eta_{кр}^* (1,11 * T_r)^{0,965} - 0,9 \text{ мкПа*с}$$

по уравнению Голубева

где $\eta_{кр}^*$ мкПа*с - динамическая вязкость в критической точке,
 T_r - приведенная температура



● Экспериментальные данные

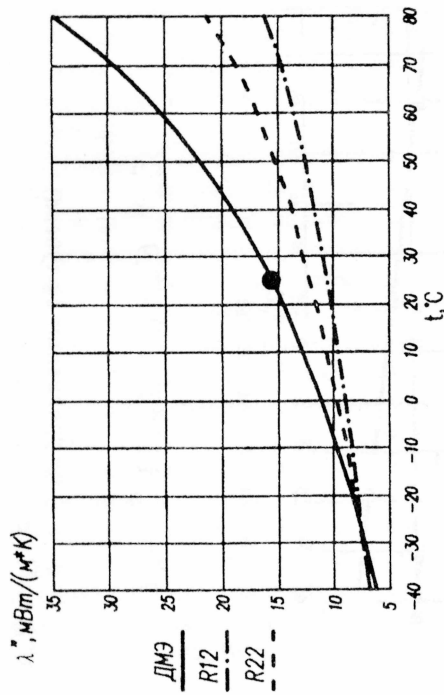
$$\eta' = \left[10^{27,4 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \right] * 10^3 - 19,46 \text{ мкПа*с}$$

по уравнению Ван-Вельцена

T_0 - параметр, связанный со структурой вещества
 T - приведенная температура

Рис. 9 Зависимость коэффициента динамической вязкости газа и жидкости ДМЭ от температуры

Теплопроводность газа ДМЭ

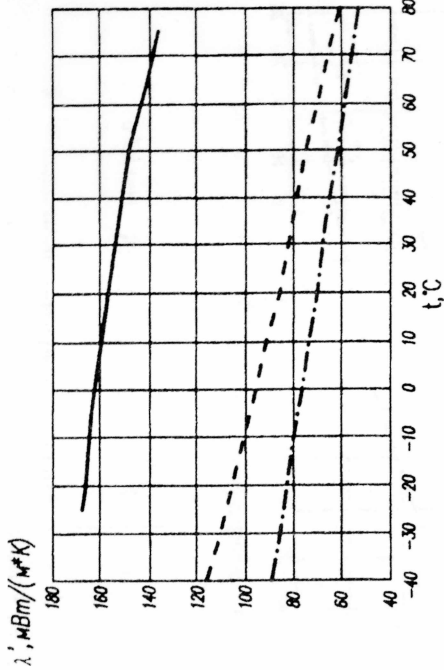


$$\lambda'' = \varphi \eta'' C_v'' - 5.24 \text{ мВт/(м}^2\text{·К)}$$

по уравнению Голубева,

где φ - коэффициент, зависящий от теплоемкостей при постоянном давлении и объеме; C_v'' , кДж/(кг·К) - удельная теплоемкость пара при постоянном объеме; η'' , мкПа·с - динамическая вязкость пара

Теплопроводность жидкости ДМЭ



$$\lambda' = A_1 C_p' \rho_3' \sqrt{\frac{\rho_1'}{\rho_3'}} \sqrt{\frac{V_T}{M}}$$

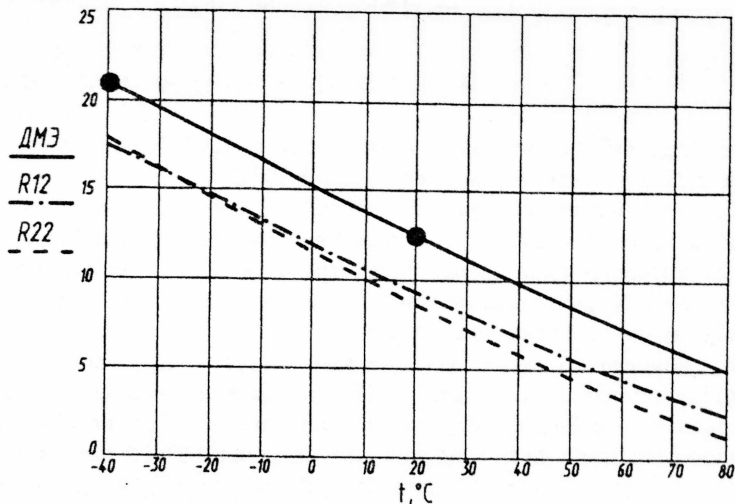
по уравнению Вебера

где $A_1 = 4 \cdot 10^{-8}$; C_p' , Дж/(кг·К) - удельная теплоемкость жидкости при постоянном давлении; ρ_1' , кг/м³ - плотность жидкости; ρ_3' - молекулярная масса

Рис. 10 Зависимость коэффициента теплопроводности газа и жидкости ДМЭ от температуры

Поверхностное натяжение ДМЭ

σ , мН/м



● Экспериментальные данные

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_{кр}} \right)^{6/5}, \text{ Н/м} \text{ — уравнение Ван-дер-Ваальса,}$$

где σ_0 — константа с размерностью коэффициента поверхностного натяжения, $T_{кр}$, К — температура в критической точке.

Рис. 11 Зависимость коэффициента поверхностного натяжения ДМЭ от температуры.

Теплообмен при конденсации у ДМЭ лучше, чем у R-12 за счет более высокого значения коэффициента теплопроводности жидкости и более низкого значения коэффициента динамической вязкости жидкости.

Результаты расчетов показали, что величина площади поверхности теплообмена испарителя-воздухоохладителя для ДМЭ меньше, чем для R12 (например, при $t_0 = -15^\circ\text{C}$ $F_{R12}/F_{DM3} = 1,67$). Следовательно, в пределах рабочих температур геометрические размеры конденсатора для ДМЭ будут меньше, чем для R-12 при одинаковой тепловой нагрузке. В случае замены R-12 на ДМЭ в работающем агрегате конденсатор будет обладать существенным запасом по поверхности теплообменника. Теплообмен при испарении ДМЭ лучше, чем при испарении R-12 за счет более высокого значения коэффициента теплопроводности жидкости и более низкой динамической вязкости жидкости.

Рассмотрен вопрос о гидравлических потерях при протекании в трубопроводе кипящего потока, однофазной жидкости и пара. Установлено, что гидравлические потери при протекании в трубопроводе кипящего потока ДМЭ в среднем в 2,5 раза меньше, чем у R-12. Гидравлические потери при

протекании в трубопроводе однофазной жидкости ДМЭ в среднем в 3,8 раза меньше, а однофазного пара ДМЭ в среднем 2,6 раза меньше, чем у R-12, за счет меньшей плотности и динамической вязкости пара и жидкости ДМЭ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

1. Исследованы термодинамические свойства ДМЭ и построена диаграмма «i-ln p» в диапазоне температур $-80...+80^{\circ}\text{C}$.
2. Для определения термодинамических свойств ДМЭ может быть использовано модифицированное уравнение состояния Редлиха-Квонга, для которого определены параметры b и a(T). В области температур $-80...+50^{\circ}\text{C}$ расхождение с экспериментальными данными по удельному объему пара не превышает 0,72%.
3. Из анализа холодильных циклов следует, что удельная массовая холодопроизводительность ДМЭ существенно выше: в три раза по сравнению с R12 и два раза по сравнению с R22. Значение плотности жидкости ДМЭ ниже аналогичного значения R12 в 2 раза, что позволяет снизить массу заправки холодильной машины. Рекуперация теплоты в цикле ДМЭ нецелесообразна в исследуемой области температур охлаждения.
4. Удельная объемная холодопроизводительность (q_v) близка к аналогичной величине у R12, что допускает использование того же компрессора при получении практически той же холодопроизводительности. (Отношение давлений и разность давлений нагнетания и всасывания близко к аналогичным величинам для R12).
5. Проверена растворимость ДМЭ в минеральном масле ХФ-12-16 в диапазоне температур $-30...+60^{\circ}\text{C}$ при объемной концентрации ДМЭ от 30% до 70%. Установлено, что ДМЭ полностью растворяется в масле при данных условиях.
6. После анализа и обобщения имеющихся данных о переносных свойствах ДМЭ предложены зависимости этих свойств от температуры. Коэффициент теплопроводности жидкости приблизительно на 50%, а пара ДМЭ до 50% выше аналогичных величин у R12, R22. Коэффициент динамической вязкости ниже (до 50%) аналогичных величин у R12, R22. Это приводит к росту коэффициента теплоотдачи при конденсации и испарении, а также к уменьшению гидравлического сопротивления по сравнению с фреонами, что позволяет выполнить замену R12 на ДМЭ без изменения конструкции испарителя и конденсатора.
7. Учитывая вышесказанное, можно рекомендовать ДМЭ в качестве нетоксичного хладагента, альтернативного R12, для дизельных авторефрижераторов, использующих ДМЭ как топливо.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Диметиловый эфир – топливо и хладагент для дизельных авторефрижераторов / А.А. Жердев, С.Д. Глухов, В.Н. Богаченко, А.В. Поляков // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Специальный выпуск. 2000. –182с.
2. Решение проблемы очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания. Тезисы доклада / А.А. Жердев, С.Д. Глухов, А.В. Поляков и др. / Научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития городской науки на период до 2005 года».