

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аспирант В. С. МАЙСОЦЕНКО

**Экспериментальное исследование  
компрессионных холодильных машин,  
работающих на неазеотропных  
смесях фреона 12 и фреона 143**

(Специальность № 194 — Холодильные машины,  
машины и аппараты глубокого охлаждения  
и кондиционирования)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса — 1969

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

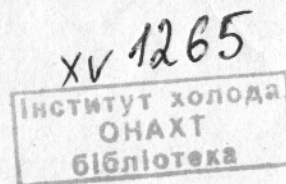
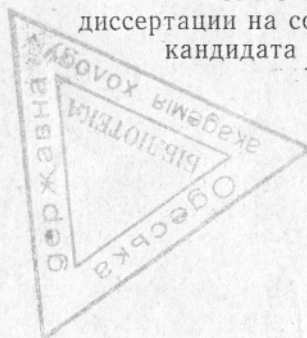
*Зое  
М. М. Сівай  
в знак пошани  
написав.  
23.7.69г. Алла*

Аспирант В. С. МАЙСОЦЕНКО

Экспериментальное исследование  
компрессионных холодильных машин,  
работающих на неазеотропных  
смесях фреона 12 и фреона 143

(Специальность № 194 — Холодильные машины,  
машины и аппараты глубокого охлаждения  
и кондиционирования)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой и холодильной промышленности.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **В. Ф. Чайковский**.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук **А. П. Клименко**,  
кандидат технических наук, доцент **И. Г. Чумак**.

Ведущее предприятие: Одесский завод холодильного машиностроения.

Автореферат разослан "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1969 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1969 г. на заседании Совета Одесского технологического института пищевой и холодильной промышленности, г. Одесса, ул. Петра Великого, № 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института. Отзыв на реферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направить в Совет института.

Ученый секретарь Совета, доцент (В. З. Жадан).

## ВВЕДЕНИЕ

Использование искусственного охлаждения во многих отраслях современной науки и техники приводит к многообразию и специфике холодильных установок, предназначенных для конкретных потребителей холода. Изыскание новых рабочих веществ для холодильных машин, применение которых позволит наиболее рационально решать всевозможные эксплуатационные и технико-экономические требования к современным холодильным установкам, — важная народнохозяйственная задача.

В нашей стране и за рубежом проявляется интерес к проблемам практического использования различных смесей агентов в качестве рабочих веществ холодильных машин. Неазеотропные смеси агентов имеют ряд преимуществ по сравнению с чистыми веществами при их использовании в холодильной технике.

В данной работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование термодинамических свойств смеси фреона 12 и фреона 143, а также холодильной машины, работающей на этой смеси, с целью определения различных характеристик биагентной установки и выявления наиболее рациональных областей ее использования.

Диссертация состоит из четырех глав: 1) применение смесей агентов в качестве рабочих веществ холодильных машин; 2) термодинамические свойства неазеотропной смеси фреона 12 и фреона 143; 3) экспериментальное исследование холодильной машины на неазеотропной смеси фреона 12 и фреона 143; 4) измерение концентрации смеси в холодильных машинах и приложения (библиография, таблицы к построению диаграмм, протоколы испытаний).

## ПРИМЕНЕНИЕ СМЕСЕЙ АГЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Для интенсификации использования холодильного оборудования и расширения температурных границ одноступенча-

тых холодильных машин ведутся поиски и применение агентов, а также смесей с необходимыми термодинамическими свойствами.

Несмотря на обширную номенклатуру холодильных агентов, требования практики (как по температурным интервалам циклов, так и по холодопроизводительности) еще удовлетворяются далеко неполностью. Поэтому поиски и исследования новых рабочих веществ не прекращаются. Известные преимущества в этом смысле дает использование различных смесей холодильных агентов.

Использование азеотропных смесей в холодильной технике заманчиво, потому что некоторые из них обладают новыми термодинамическими свойствами, выгодно отличающимися от свойств компонентов. К ним следует отнести фреон 500 (каррен 7), фреон 501, фреон 502, фреон А-1 и др. Однако азеотропная область бинарных систем является весьма ограниченной, а в широком интервале концентраций, давлений и температур бинарные смеси оказываются неазеотропными.

Характерной особенностью неазеотропных смесей являются различные равновесные концентрации жидкой и паровой фаз, что и предопределяет переменность температур при фазовых переходах. Неазеотропные смеси имеют следующие преимущества по сравнению с азеотропными:

а) использование неазеотропных смесей агентов может улучшить энергетические характеристики машин при неизотермических процессах отвода тепла; б) регулируя состав рабочей смеси, можно обеспечить оптимальные условия работы одноступенчатого компрессора в широком диапазоне холодопроизводительностей и температур в испарителе; в) применение неазеотропных смесей агентов расширяет номенклатуру рабочих веществ, что увеличивает возможности унификации холодильного оборудования; г) в одноступенчатых холодильных машинах возможно осуществлять низкотемпературные циклы без вакуума в испарителе; д) применяя вместо чистого агента смеси агентов, представляется возможным повысить холодопроизводительность обычной парокompрессионной установки при фиксированной температуре кипения, либо снизить температурный уровень в испарителе; е) можно получить одновременно несколько температурных уровней в соответствующих испарителях при одном и том же давлении.

С целью расширения температурных границ использования каскадных холодильных установок без их существенного конструктивного усложнения автором совместно с В. Ф. Чайковским и А. П. Кузнецовым было предложено в верхнем каскаде вместо агента среднего давления (Ф-12 или Ф-22) применить неазеотропную взаиморастворимую бинарную смесь; со-

ставленную из агентов среднего и высокого давлений (Ф12—Ф13, Ф12—Ф23, Ф22—Ф13 и т. п.).

При этом в верхнем каскаде реализуется низкотемпературный биагентный цикл. Цикл в нижнем каскаде (при использовании в нем чистого агента высокого давления) осуществляется обычным образом. Приведем данные, иллюстрирующие преимущества такой каскадной установки. При использовании в верхнем каскаде неазеотропной смеси Ф12—Ф13 ( $\xi=32\%$ ) и температуре конденсации  $T_k=298^\circ\text{К}$ ,  $P_k/P_0=11$ , а температура после регулирующего вентиля  $T_{рв}=208^\circ\text{К}$ . Для сопоставления при тех же температурных условиях в верхнем каскаде ( $T_k=298^\circ\text{К}$ ,  $T_{рв}=208^\circ\text{К}$ ) рассматривается агент Ф-22, для которого требуется применение двухступенчатого цикла, так как отношение давлений конденсации и кипения у него будет  $P_k/P_0=37$ . В нижнем каскаде при использовании агента Ф-14 цикл реализуется при  $T_k=213^\circ\text{К}$  и  $T_0=155^\circ\text{К}$ , что соответствует отношению давлений  $P_k/P_0=11$ .

Для возможности использования унифицированного холодильного оборудования в тропических условиях, а также создания эффективных холодильных машин с воздушным охлаждением конденсаторов автором совместно с В. Ф. Чайковским и А. П. Кузнецовым было предложено новое рабочее вещество — неазеотропная смесь фреона 12 и фреона 21. Экспериментальное исследование парокompрессионной холодильной машины, работающей на этой смеси, показало, что давление конденсации может быть снижено на 3—3,5 бара по сравнению с фреоном 12. Следует отметить, что смесь Ф12—Ф21 является перспективным рабочим веществом и для тепловых насосов.

В современном холодильном машиностроении наблюдается тенденция к интенсификации машин и аппаратов холодильных установок. В проекте нового ГОСТа основным агентом холодильных машин предусматривается фреон 22, который обладает высокой объемной холодопроизводительностью (на 62% выше, чем у фреона 12) и лучшими коэффициентами теплоотдачи.

Ближайшим по нормальной температуре кипения к фреону 22 является трифторэтан (фреон 143), термически очень стойкое вещество. Его нормальная температура кипения  $226^\circ\text{К}$ . Фреон 143 обладает еще большей объемной холодопроизводительностью, чем фреон 22. Кроме того, фреон 143 является неиспользуемым отходом при производстве широко внедряемого в холодильной технике фреона 142. Нормы предельного содержания влаги и загрязнений, установленные в СССР и других странах, у фреона 143 гораздо выше по сравнению с фреоном 12 или 22. Так, например, предельное

содержание влаги у фреона 143 допускается не более 0,004%, у фреона 12  $\leq 0,0006\%$ , у фреона 22  $\leq 0,0025\%$ .

Фреон 143 в обезвоженном состоянии инертен ко всем металлам в диапазоне температур, применяемых в холодильной технике (исключение — сплавы, содержащие более 2% магния). Резина, паронит и пластмассы в жидком фреоне 143 не набухают и не растворяются. По токсичности фреон 143 можно отнести к 4—5 группе, так же как и фреоны 11, 22, 113 и др.

Исследование холодильного компрессора на фреоне 143 было проведено А. Быковым, позднее К. Каном и Л. Маком. Было определено, что при использовании фреона 143 вместо фреонов 12 и 22 холодопроизводительность компрессора резко повышается. При этом существенную роль играет величина объемной производительности, которая для фреона 143 больше, чем для фреонов 12 и 22. Температура нагнетания фреона 143 при больших отношениях давления не превышала 370° К, а температура фреона 22 при аналогичном режиме равнялась 375° К.

Растворимость фреона 143 в масле ХФ-22, которое было использовано при испытаниях, была хуже чем у фреона 22. Кроме того, давление конденсации в одноступенчатых холодильных установках, работающих на фреоне 143, при обычных температурах охлаждающих сред (воды, воздуха) превышало допустимые величины.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что фреон 143 — агент, обладающий многими преимуществами по сравнению с фреонами 12 и 22. Однако недостатки фреона 143 (высокие давления конденсации, плохая растворимость с маслом) делают почти невозможным его применение в одноступенчатых холодильных машинах.

Указанные недостатки, свойственные чистому фреону 143, в значительной степени могут быть устранены путем использования смеси агентов фреона 12 и фреона 143, теоретическому и экспериментальному исследованию которой посвящены последующие главы.

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ ФРЕОНА 12 И ФРЕОНА 143

Тепловые диаграммы позволяют оценить термодинамические свойства смесей, производить анализ полученных экспериментальных данных и дают возможность проводить основные расчеты, связанные с проектированием холодильных машин, работающих на смесях агентов.

### Диаграмма концентрация-энтальпия смеси фреона 12 и фреона 143

Построение диаграмм концентрация-энтальпия реального раствора может быть проведено, если мы располагаем достаточно точными и исчерпывающими данными как по чистым веществам, образующим данную смесь, так и по термодинамическим свойствам смеси (энтальпиям чистых компонентов, фазовым равновесиям и теплотам растворения в обеих фазах).

Отсутствие таких данных для смеси Ф-12 и Ф-143 вынуждает применять к данной системе законы идеальных растворов. Экспериментальное исследование этой смеси на калориметрическом стенде может быть в первом приближении использовано для оценки правильности принятого нами допущения. Близость физических и химических свойств Ф-12 и Ф-143 позволяет предположить наличие сходства молекулярных полей и одинакового характера распределения молекул в пространстве.

Применяя законы идеальных растворов к паровой и жидкой фазам, получим зависимость между составом  $N'$  жидкого раствора и составом  $N''$  пара при данной температуре  $T$ :

$$N'' = \frac{N' P_2^0 / P_1^0}{1 + N'(P_2^0 / P_1^0 - 1)}, \quad (1)$$

здесь  $P_1^0$  и  $P_2^0$  — давление насыщенных паров чистых компонентов при температуре смеси.

Зная равновесные составы сосуществующих фаз, оказывается возможным построить диаграммы  $N-P$  и  $N-T$ , а затем провести построение диаграммы  $\xi-i$  (пересчитав мольные концентрации в весовые).

Изотермы в паровой фазе в диаграмме  $\xi-i$  представляют собой прямые линии, уравнением которых является:

$$i = (1 - \xi) \cdot i_1 + \xi \cdot i_2, \quad (2)$$

где  $i_1$  и  $i_2$  — энтальпии чистых компонентов при данных  $P, T$ .

В области, далекой от критической (1 ÷ 16 бар), энтальпия пара мало зависит от давления и может выбираться только по температуре на линии насыщения.

Изотермы жидкой фазы раствора представляют собой прямые линии в связи с тем, что теплоту смешения компонентов в жидкой фазе раствора мы положили равной нулю.

Построение изобар в жидкой и паровой фазах и вспомогательных кривых проводим с использованием диаграммы  $\xi-T$ . Диаграмма  $\xi-i$  представлена на рис. 1.

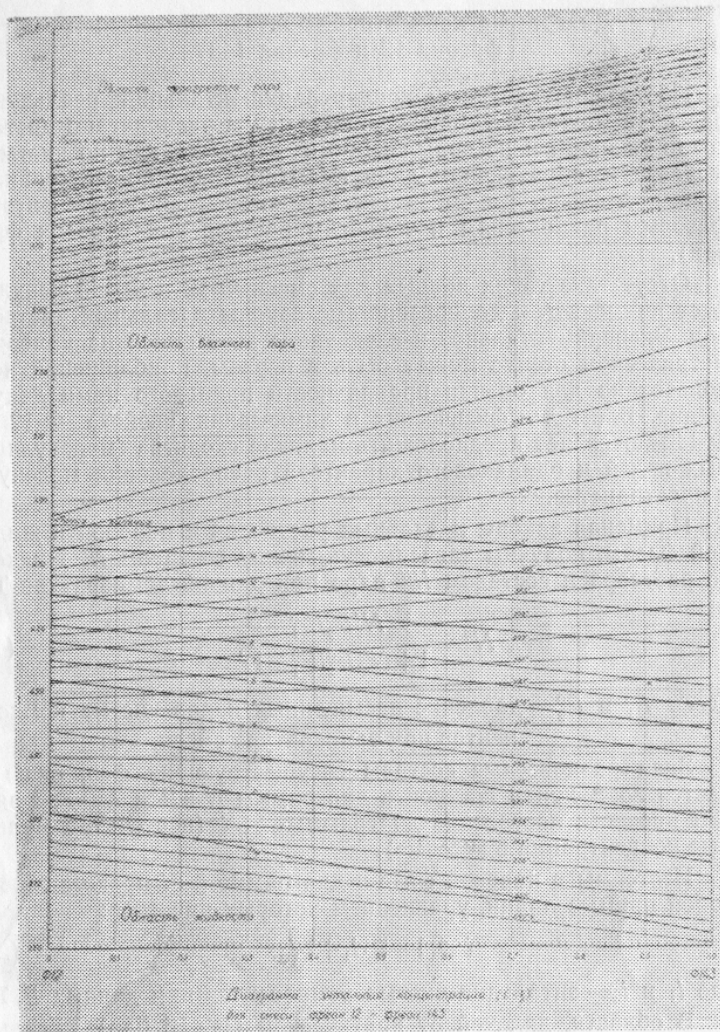


Рис. 1. Диаграмма концентрация-энтальпия для смеси фреона 12 и фреона 143.

### Диаграмма концентрация—энтропия для смеси фреона 12 и фреона 143

Построение диаграммы начинается с нанесения изотерм в области пара. На основании уравнения Битти-Бриджмена

энтропию газообразной бинарной смеси возможно определить следующим образом:

$$S = \frac{1}{\mu_{см}} [(1-N) \cdot S_{12}^* + N S_{143}^*] - AR \cdot 4,1868 [(1-N) \times \ln(1-N) + N \cdot \ln N] - 4,1868A \left[ R \ln P + \frac{B_0 \cdot b}{R \cdot T^2} \times \left( \frac{P^2}{2} - \frac{1}{2} \right) + \frac{A_0}{R \cdot T^2} (P-1) + \frac{2A_0 \cdot a}{R^2 T^3} \left( \frac{P^2}{2} - \frac{1}{2} \right) + \frac{3c}{T^4} (P-1) + \frac{4B_0 \cdot c}{R \cdot T^5} \left( \frac{P^2}{2} - \frac{1}{2} \right) - \frac{5B_0 \cdot b \cdot c}{R^2 T^6} \left( \frac{P^3}{3} - \frac{1}{3} \right) \right] \frac{\text{кдж}}{(\text{кг}^\circ\text{К})}. \quad (3)$$

Здесь

$$P = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad T = ^\circ\text{К}; \quad A = \frac{1}{427} \frac{\text{ккал}}{\text{кгм}};$$

$$R = \frac{847,83}{\mu_{см}} \frac{\text{кгм}}{(\text{кг}^\circ\text{К})}; \quad \mu_{см} = \mu_{12} \cdot (1-N) + \mu_{143} \cdot N.$$

Значения констант по уравнению Битти-Бриджмена для фреона 12:

$$A_0 = 8,26; \quad a = 7,25 \cdot 10^{-4}; \quad B_0 = 1,21 \cdot 10^{-3}; \\ b = 2,47 \cdot 10^{-4}; \quad c = 18,39 \cdot 10^3;$$

для фреона 143:

$$A_0 = 15,08; \quad a = 10,225 \cdot 10^{-4}; \quad B_0 = 1,70 \cdot 10^{-3}; \\ b = 3,48 \cdot 10^{-4}; \quad c = 18,83 \cdot 10^3.$$

Для смесей фреонов при различных концентрациях необходимо дополнительно вычислять константы. Для уравнения Битти-Бриджмена применяется следующий метод комбинирования констант в зависимости от  $N$ :

$$(A_0)_{см}^{1/2} = (A_0)_{12}^{1/2} \cdot (1-N) + (A_0)_{143}^{1/2} \cdot N, \\ (B_0)_{см} = (B_0)_{12} \cdot (1-N) + (B_0)_{143} \cdot N, \\ a_{см} = a_{12} \cdot (1-N) + a_{143} \cdot N, \\ b_{см} = b_{12} \cdot (1-N) + b_{143} \cdot N, \\ c_{см} = c_{12} \cdot (1-N) + c_{143} \cdot N. \quad (4)$$

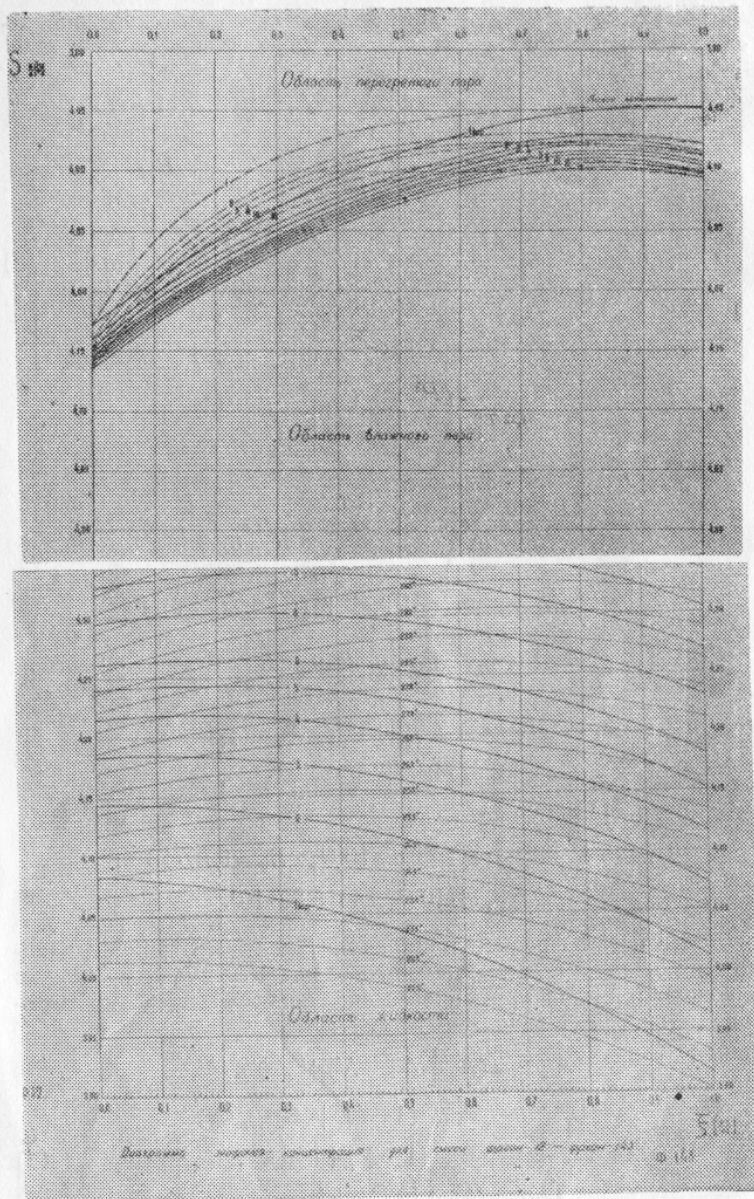


Рис. 2. Диаграмма концентрация-энтропия для смеси фреона 12 и фреона 143.

Для вычисления энтропии в идеальном-газовом состоянии используем данные по теплоемкости компонентов раствора при постоянном давлении  $C_{p0}$ :

$$S^* = \int_{273,15}^T C_{p0} \cdot \frac{dT}{T} + \text{const},$$

причем  $S' = 4,1868 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг}^\circ\text{К})}$ , при  $T = 273,15^\circ \text{ К}$ .

Так как энтропия газа даже при низких давлениях существенно зависит от давления, то были вычислены по уравнению (3) серии изотерм при различных  $P = \text{const}$ . Расчеты велись на ЭЦВМ «Минск-1». Далее по имеющимся  $\xi-T$  диаграммам были построены в  $\xi-S$  диаграммах (при  $P = \text{const}$ ) линии сухого пара, которые затем совмещались в общую диаграмму области парообразования.

Кривые кипения и изотермы в области жидкости строятся по уравнениям фазового обмена и известным зависимостям теплоемкости чистых жидких компонентов смеси от температуры. При расчетах в области жидкой фазы допускаем, что calorические свойства жидкости практически не зависят от давления (при значительном удалении от критической точки). При таком допущении изотермы жидкости при всех рассматриваемых давлениях будут тождественны.

На рис. 2 приведена диаграмма концентрация—энтропия для смеси Ф12—Ф143.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА НЕАЗЕОТРОПНОЙ СМЕСИ ФРЕОНА 12 и ФРЕОНА 143

Для исследований был создан экспериментальный стенд на базе агрегата ФАК—1,5. Холодопроизводительность определялась электрокалориметром со вторичным агентом. Изменялись и регулировались все необходимые параметры в соответствии с правилами проведения испытаний. Для непрерывного контроля изменения температур всех элементов системы был применен автоматический самопишущий потенциометр ЭПП-09М.

На рис. 3 показана принципиальная схема стенда. Пары агента (смеси) через маслоотделитель (2) нагнетаются компрессором (1) в водяные (3, 4) или воздушный (5) конденсаторы. Затем конденсат агента (смеси) через жидкостной расходомер (6) поступает в ресивер (7). Из него жидкость направляется в регенеративный теплообменник (8) и, пройдя

смотровое стекло (9), дросселируется в регулирующем вентиле (10). Далее парожидкостная смесь испаряется в змеевике электрокалориметра (11), и перегретые пары через регенеративный теплообменник (8) поступают на всасывающую сторону компрессора (1).

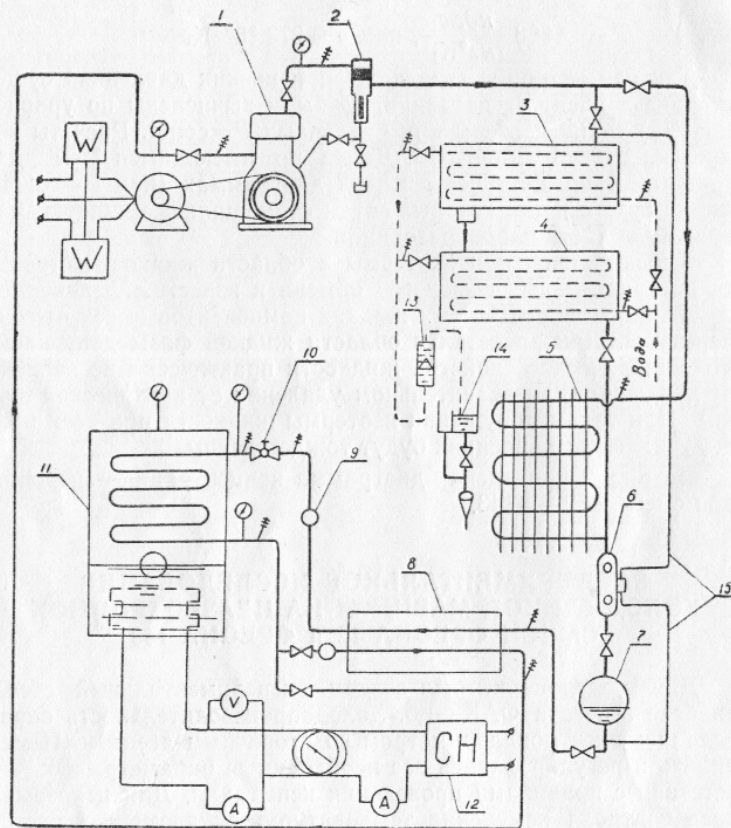


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментального стенда:  
1 — компрессор, 2 — маслоотделитель, 3, 4 — водяные конденсаторы, 5 — воздушный конденсатор, 6 — расходомер жидкого агента, 7 — ресивер, 8 — регенеративный теплообменник, 9 — визуальное стекло, 10 — регулирующий вентиль, 11 — электрокалориметр со вторичным агентом, 12 — стабилизатор напряжения, 13 — водяной ротаметр, 14 — мерный бак, 15 — уравнивательная линия.

Испытания холодильной машины проводились на чистых фреонах 12, 22 и 143, а также на неазеотропных смесях фреона 12 и фреона 143 (максимальная весовая концентрация по фреону 143 равнялась 45%). При работе на фреоне 143, а также при дальнейшем увеличении концентрации смеси (более 45%) давление нагнетания возрастало выше допустимых норм.

Испытания проводились при следующих давлениях кипения: 1,1; 1,5; 2 и 2,5 бара. Температура выходящего конденсата поддерживалась на уровне 303° К, а температура паров, идущих на всасывание в компрессор,  $288 \pm 2^\circ$  К.

Было обнаружено, что объемные, весовые и энергетические характеристики холодильной машины улучшаются при росте концентрации смеси по низкокипящему компоненту. Увеличение концентрации фреона 143 лимитирует только давление нагнетания, которое по существующему в настоящий момент ГОСТу не должно превосходить для одноступенчатых машин  $11 \div 12$  бар. Поэтому для смеси Ф12—Ф143 рекомендуется принимать весовую концентрацию по фреону 143, равную 25%.

При концентрации 25% во всех режимах работы установки давление нагнетания смеси не превышало допустимых норм. Отношение давлений нагнетания и всасывания ( $P_n/P_{вс}$ ) при рабочих температурах в испарителе также оставалось в допустимых пределах (см. рис. 4).

Испытания показали, что величина  $P_n/P_{вс}$  у смеси Ф12—Ф143, так же как у смеси Ф12—Ф22, практически остается постоянной с изменением весовой концентрации низкокипящего компонента. В диапазоне температур после регулирующего вентиля от 253° К до 243° К величина  $P_n/P_{вс}$  для смеси Ф12—Ф143 меньше, чем у фреонов 12, 22, их смесей, а также смесей Ф12—Ф13 ( $\xi_{13}=15\%$ ) и Ф12—Ф13 ( $\xi_{13}=32\%$ ).

Разность давлений нагнетания и всасывания ( $P_n - P_{вс}$ ) для смеси Ф12—Ф143 меньше, чем у Ф-22, начиная от температур 253° К и ниже. Эта разность у Ф12—Ф143 также меньше, чем у Ф12—Ф13 ( $\xi_{13}=15\%$ ), но больше, чем у Ф12—Ф22 ( $\xi_{22}=20\%$ ) при прочих равных условиях.

Для смеси Ф12—Ф143 имеет место значительный рост холодопроизводительности с ростом весовой концентрации Ф-143 в смеси (рис. 5). Возможность регулировать часовую холодопроизводительность при постоянной температуре в испарителе, изменяя концентрацию смеси, имеет существенное значение для унификации холодильных компрессоров. Естественно, такая холодильная установка может себя хорошо проявить в таких условиях, где создаются резко колеблющиеся тепловые нагрузки.

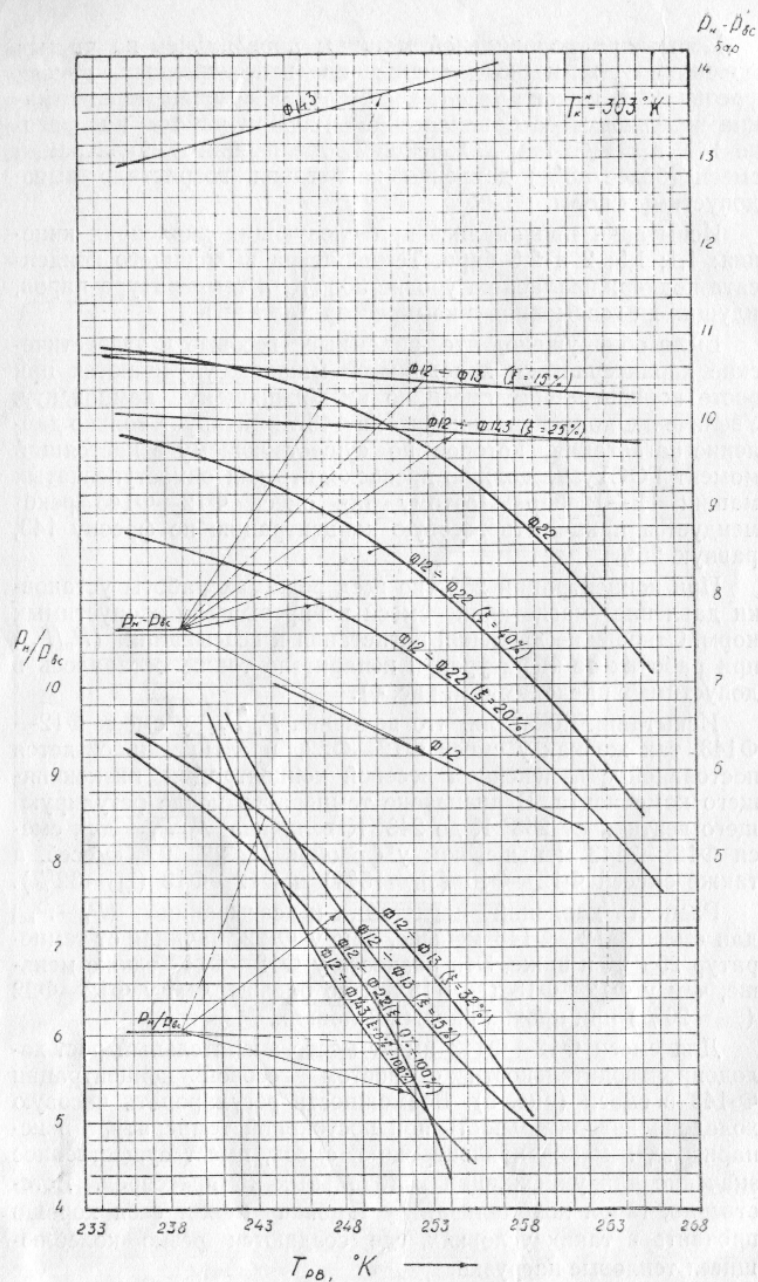


Рис. 4. Отношение и разность давлений нагнетания и всасывания для различных агентов и смесей.

Сравнивая неазеотропную смесь Ф12—Ф143 с другими фреонами и их смесями, можно заключить, что у данной сме-

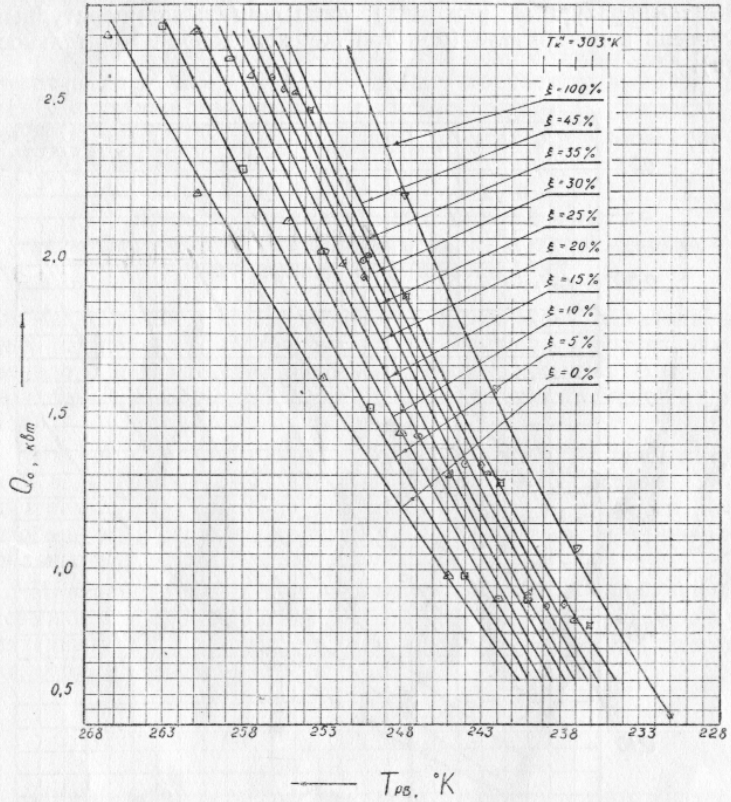


Рис. 5. Зависимость часовой холодопроизводительности от температуры после регулирующего вентиля при различных концентрациях Ф-143 в смеси Ф12—Ф143.

си величина  $Q_0/V_n$  имеет при одинаковых температурных условиях наибольшую величину (рис. 6). Только у чистого Ф-143 отношение часовой холодопроизводительности к объему, описанному поршнями компрессора, больше, чем у смеси Ф12—Ф143. При сравнении холодильных коэффициентов установки, использующей известные фреоны и их смеси, было определено что величина  $\epsilon$  для смеси Ф12—Ф143 имеет максимальное значение по сравнению с другими приведенными рабочими веществами.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что, применяя неазеотропную смесь агентов Ф12—Ф143, можно существенно увеличить холодопроизводительность установки по сравнению с работой на Ф-12 и Ф-22 (при тех же температурных режимах), либо снизить температурный уровень в испарителе (при той же холодопроизводительности).

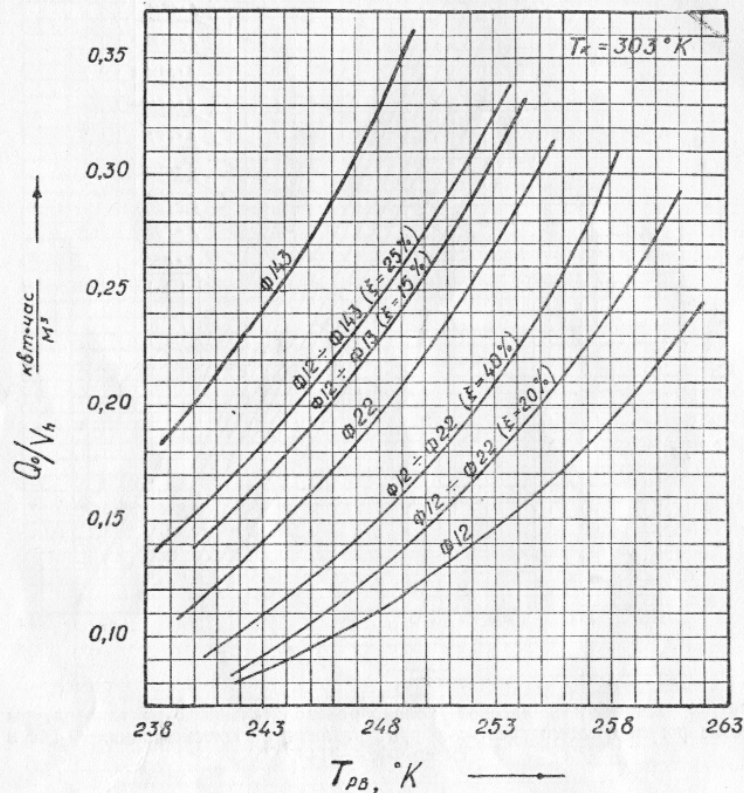


Рис. 6. Сопоставление объемных характеристик различных агентов и смесей.

Смесь Ф12—Ф143 при рекомендуемой концентрации низкипящего компонента ( $\xi=25\%$ ) в процессах конденсации и кипения обладает незначительной переменностью температур (порядка  $3\div 4^\circ$ ) и может быть использована, как и чистые агенты, для объемного охлаждения сред.

Обработка опытных данных показала, что объемные, энергетические и эксплуатационные характеристики компрессоров при использовании смеси Ф12—Ф143 лучше, чем при их работе на фреоне 12, фреоне 22 и их смесях, а также на смесях Ф12—Ф13.

Таким образом исследованная в широком диапазоне температур, давлений и концентраций неазеотропная смесь фреона 12 и фреона 143 позволяет интенсифицировать существующие компрессорные холодильные установки без каких-либо конструктивных изменений.

#### Влияние регенеративного теплообмена на эффективность холодильного цикла при применении смеси фреона 12 и фреона 143

Исследование регенеративного теплообмена в холодильных установках, работающих на неазеотропных смесях, позволило определить ряд особенностей, связанных со специфической термодинамическими свойствами неазеотропных смесей агентов.

На рис. 7 показан цикл с регенеративным теплообменником в диаграмме  $S-T$  для смеси постоянного состава. Эта диаграмма отличается от диаграмм чистых агентов тем, что изобары в двухфазной области не горизонтальны и не параллельны друг другу.

При работе без регенеративного теплообменника неизотермичность процесса кипения соответствует температурному интервалу  $\Delta T_{исп}$ . При этом холодопроизводительность одного килограмма смеси будет:

$$q_0 = i_{A'} - i_G \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

При наличии регенеративного теплообменника этот интервал температур в испарителе увеличится и составит  $\Delta T'_{исп}$ , а удельная весовая холодопроизводительность будет больше на величину  $\Delta q_0$ :

$$q_0 + \Delta q_0 = i_{A'} - i_F \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Таким образом, переохлаждение жидкой неазеотропной смеси перед регулирующим вентилем не только в значительной степени уменьшает необратимость процесса дросселирования, но и приводит к снижению нижней температуры кипения смеси  $T_0^k$  и расширению температурного интервала  $\Delta T'_{исп}$  в испарителе.



нию с фреоном 12 составлял в среднем 25%. При этом никакого нарушения режима работы машины не наблюдалось.

Неазеотропная смесь фреона 12 и фреона 143, на наш взгляд, является эффективным рабочим веществом для холодильных агрегатов домашних холодильников. Предварительные испытания холодильного агрегата ДХ-2М на смеси Ф12—Ф143 ( $\xi=25\%$ ) показали, что коэффициент рабочего времени на смеси Ф12—Ф143 меньше, чем при использовании фреона 12. Кроме того, смесь Ф12—Ф143 допускает значительно больше влаги в системе, чем фреон 12, что особенно важно в холодильных агрегатах домашних шкафов, где в качестве дроссельного устройства используется капиллярная трубка.

#### ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАБОЧЕЙ СМЕСИ АГЕНТОВ В БИАГЕНТНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ

В связи с применением смесей агентов в качестве рабочих веществ холодильных машин возникла необходимость в измерении концентрации, являющейся важным параметром при эксплуатации холодильных машин на смесях агентов.

На первый взгляд кажется наиболее простым способ определения концентрации с помощью имеющейся диаграммы состояния. Однако для этого необходимо знать температуру и давление в той части холодильной машины, где достоверно соблюдается термодинамическое равновесие фаз, что, к сожалению, в действующей установке вряд ли возможно.

Для измерения концентрации смесей агентов были рассмотрены следующие методы: хроматографический, ультразвуковой, оптико-акустический, термокондуктометрический, термостатический и другие. Описан опытный термокондуктометрический концентратомер, спроектированный и изготовленный специально для измерения концентрации смесей фреонов. Предложены новые способы измерения концентрации: адсорбционный и способ непрерывного определения концентрации смесей фреонов в биагентных холодильных машинах. Первый способ основан на адсорбционной способности цеолитов (молекулярных сит) избирательно поглощать один из компонентов смеси, уменьшая этим его парциальное давление в емкости. По падению общего давления в этой емкости можно судить о концентрации отобранной пробы. Однако недостатком приборов, работающих по «адсорбционному» способу, является периодичность измерений, а также необходимость регенерирования цеолита.

Наиболее эффективным методом измерения концентрации смесей фреонов в биагентных холодильных машинах является «способ непрерывного определения концентрации».

Действие прибора, работающего по этому способу, основано на однозначной зависимости концентрации смеси от разности давлений насыщенного пара чистого компонента и его смеси с другим компонентом при их одинаковой температуре.

Зависимость концентрации от разности давлений насыщенного пара агента и его смеси с другим компонентом при различных низших температурах конденсации смеси определяется при помощи таблиц термодинамических свойств для данной смеси или построения градуировочных кривых на основании существующих тепловых диаграмм.

Во всех случаях прибор надлежит предварительно тарировать для конкретных бинарных смесей на специальном стенде.

Прибор для непрерывного измерения концентрации прост как в изготовлении, так и в эксплуатации, и обеспечивает достаточную для инженерных целей точность.

#### ВЫВОДЫ:

1. Экспериментальные исследования показали, что применяя неазеотропную смесь агентов Ф12—Ф143, можно существенно увеличить холодопроизводительность установки по сравнению с работой на Ф-12 и Ф-22 (при тех же температурных режимах), либо снизить температурный уровень в испарителе (при той же холодопроизводительности).

2. Смесь Ф12—Ф143 при рекомендуемой концентрации низкокипящего компонента ( $\xi=25\%$ ) в процессах конденсации и кипения обладает незначительной переменностью температур (порядка 3—4°), и поэтому может быть использована, как и чистые агенты, для объемного охлаждения сред.

3. Обработка опытных данных показала, что объемные, энергетические и эксплуатационные характеристики компрессора при использовании смеси Ф12—Ф143 лучше, чем при работе на фреоне 12, фреоне 22, их смесях, а также на смесях Ф12—Ф13. Показатели холодильной машины улучшаются при росте концентрации по низкокипящему компоненту смеси. Увеличение концентрации Ф-143 лимитирует давление нагнетания, которое не должно превосходить 11 ÷ 12 бар.

4. Регенеративный теплообмен, используемый в установках, работающих на смеси Ф12—Ф143 ( $\xi=25\%$ ), не только в значительной степени уменьшает необратимость процесса дросселирования, но и приводит к снижению низшей температуры кипения смеси. Причем это снижение более эффективно у неазеотропных смесей, неизотермичность процесса кипения которых более значительна. Температуры всасываемого пара при использовании неазеотропных смесей агентов должны быть, как и для чистых фреонов, близки к 288° К.

5. Исследование рабочего процесса компрессора показало, что коэффициент подачи на смеси Ф12—Ф143 ( $\xi=25\%$ ) несколько превосходит коэффициент подачи компрессора, работающего на фреоне 12 и фреоне 22. Применение вместо фреона 22 смеси Ф12—Ф143 ( $\xi=25\%$ ) позволяет также снизить температуру нагнетания в компрессоре. Удельная индикаторная холодопроизводительность машины  $K_i$  на неазеотропной смеси Ф12—Ф143 ( $\xi=25\%$ ) выше, чем при ее работе на фреоне 12 и фреоне 22.

6. Один из компонентов смеси фреона 12 и фреона 143 — фреон 143 (трифторэтан) является неиспользуемым отходом при производстве фреона 142 (дифтормонохлорэтана). Последнее обстоятельство снижает стоимость смеси Ф12—Ф143 по сравнению с другими известными агентами и их смесями.

7. Для тепловых расчетов и анализа потерь от необратимости в циклах биагентных холодильных машин, работающих на смеси Ф-12 и Ф-143, были построены диаграммы концентрация—температура, концентрация—давление, концентрация—энтальпия и концентрация—энтропия.

8. Для определения состава рабочей смеси агентов или контроля концентрации при данном режиме в биагентных холодильных машинах был спроектирован и изготовлен опытный термокондуктометрический прибор специально для фреоновых смесей.

С целью упрощения существующих способов замера концентрации был предложен «адсорбционный метод» измерения концентрации. Для непрерывного определения концентрации смеси фреонов во время работы машины создан прибор, позволяющий эффективно использовать биагентные холодильные установки в реальных условиях эксплуатации.

9. Внедрение отдельных результатов проведенных исследований смеси Ф12—Ф143 на судах типа ТХС, в агрегатах домашних холодильников, создание опытной холодильной биагентной установки для электросинтеза непредельных кислот и их производных подтвердило эффективность применения в некоторых конкретных случаях вместо фреона 12 или фреона 22 неазеотропной смеси фреона 12 и фреона 143.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования термодинамических свойств смеси Ф12—Ф143, а также холодильной машины, работающей на этой смеси, позволяют сделать вывод, что указанная смесь может быть успешно использована в качестве рабочего вещества пароконпресссионных холодильных машин.

\* \* \*

Содержание работы докладывалось на:

Всесоюзной научно-технической конференции по термодинамике в гор. Ленинграде, в 1968 г.;

XXXVIII отчетной научной конференции ОТИПХП в 1969 г.;

Всесоюзной конференции по расчету на ЭВМ термодинамических свойств индивидуальных веществ, смесей и процессов с ними в г. Киеве, в 1969 г.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Майсоценко В. С. Рабочая смесь для холодильных машин (фреон 12—фреон 143). Авторское свидетельство № 217365, апрель 1967 г. Бюллетень изобретений и товарных знаков, № 16, 1968.

2. Кузнецов А. П., Майсоценко В. С. Экспериментальный стенд для исследования смесей агентов. «Холодильная техника и технология», № 4, Киев, 1967.

3. Майсоценко В. С., Хаятин Ю. Д. Автоматический контроль и точное измерение температур в калориметрических стендах. «Холодильная техника и технология», № 4, Киев, 1967.

4. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С. Регенеративный теплообмен при применении смеси фреонов 12 и 13. «Холодильная техника», № 7, Москва, 1967.

5. Чайковский В. Ф., Кузнецов А. П., Майсоценко В. С. Рабочая смесь для холодильных машин (фреон 12—фреон 21). Авторское свидетельство № 216620, апрель 1967 г. Бюллетень изобретений и товарных знаков, № 15, 1968.

6. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С. Адсорбционный метод измерения концентрации в биагентных холодильных установках. «Холодильная техника и технология», № 6, Киев, 1968.

7. Майсоценко В. С., Рамьялг Ю. П., Плисов А. К. Биагентная холодильная установка для электросинтеза непредельных кислот и их производных. «Холодильная техника и технология», № 6, Киев, 1968.

8. Чайковский В. Ф., Кузнецов А. П., Майсоценко В. С. Каскадная холодильная установка. Авторское свидетельство № 224537. Бюллетень изобретений и товарных знаков, № 26, 1968.

9. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С. Исследование рабочего процесса холодильного компрессора на смеси фреон 12—фреон 13. «Холодильная техника и технология», № 7, Киев, 1968.

10. Чайковский В. Ф., Кузнецов А. П., Майсоценко В. С. Применение новых рабочих веществ для рас-

ширения температурных границ использования современных холодильных машин. «Холодильная техника и технология», № 8, Киев, 1968.

11. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С., Гранник Ч. Б. Термодинамическое исследование реального цикла биагентной холодильной машины. «Холодильная техника», № 4, Москва, 1969.

12. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С., Гранник Ч. Б. Теоретические и экспериментальное исследование смесей фреона 12—фреона 143 и фреона 12— $SF_6$ . Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по термодинамике, Ленинград, 1968.

13. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С. Использование смеси агентов фреон 12—фреон 143 в качестве рабочего вещества на транспортных холодильных судах. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР, Киев, 1968.

14. Чайковский В. Ф., Майсоценко В. С., Гранник Ч. Б. К расчету фазовых равновесий и термодинамических потенциалов в идеальных и реальных растворах фреонов. Алгоритмизация расчета процессов и аппаратов химических производств, технологии переработки и транспорта нефти и газа на ЭЦВМ, № 4, Киев, 1969.