

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРИКЛАДНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

На правах рукописи

УДК 621.575

Аль Тавиль Мохаммад Талал

РАБОЧИЕ ВЕЩЕСТВА И РЕЖИМЫ РАБОТЫ  
СОРБЦИОННОЙ ТЕПЛОИСПОЛЗУЮЩЕЙ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Специальность: 05.04.03 - машины и аппараты холодильной  
и криогенной техники и систем  
кондиционирования.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук.

Москва - 1998 г.

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте транспортного строительства (ЦНИИС)

Научный руководитель докт. техн. наук, профессор,  
заслуженный деятель науки и техники РФ  
Лебедев В.Ф.

Научный консультант докт. техн. наук, старший научн. сотр.  
Латышев В.П.

Официальные оппоненты:  
докт. техн. наук, профессор Гореньков Э.С.,  
канд. техн. наук, профессор Малова Н.Д.

Ведущая организация: фирма РЕФКО (Industrial Refrigeration)

Защита состоится "24" декабря 1998 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета К 063.46.03 в Московском государственном университете прикладной биотехнологии (МГУПБ) по адресу: 109316, Москва, ул.Талалихина,33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПБ.

Автореферат разослан "12" ноября 1998 г.

Отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять в диссертационный Совет МГУПБ по адресу: 109316, Москва, ул. Талалихина, д. 33, МГУПБ.

Ученый секретарь диссертационного  
совета канд. техн. наук, доцент



Агеев Г.Л.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы.

Одной из важнейших тенденций дальнейшего прогресса современной холодильной техники является уменьшение энергозатрат на производство искусственного холода. Современное производство искусственного холода является одним из основных потребителей высокопотенциальной энергии, на выработку которой расходуются невосполнимые виды природного органического топлива (нефть, газ, уголь), запасы которых ограничены. За последнее время имеет место резкий рост цен на такие виды топлива, причем эта тенденция должна сохраняться. Одним из важнейших направлений по экономии энергоресурсов являются применение схем без использования или с малым использованием электрической и механической энергии, вырабатываемых при сжигании органических топлив. Применение таких схем важно также в связи с возросшими требованиями по снижению теплового загрязнения окружающей среды.

Перспективны в этом отношении теплоиспользующие холодильные машины благодаря возможности эффективного использования вторичных ресурсов (отходящие газы, отработанный пар, горячая вода), теплоты ТЭЦ в неотапительный период, а также нетрадиционных источников энергии, например, солнечной энергии. В настоящее время получили широкое распространение в ряде отраслей государственного хозяйства абсорбционные водоаммиачные и бромисто литиевые холодильные машины. Теплоиспользующие холодильные машины положительны и с экологической точки зрения, т.к. позволяют избежать применения хлорфторуглеродов в качестве хладагентов, отрицательно воздействующих на озоновый слой атмосферы, а также выбросов

машинного масла в окружающую среду. Абсорбционные холодильные машины работают при температуре греющего источника 70-180 °С (наиболее используемый диапазон 115-180 °С).

Вследствие этого, диапазон температур до 70°С является "неиспользуемым и соответствующая теплота часто просто сбрасывается в атмосферу. Следовательно, необходимы холодильные установки, способные вырабатывать холод при подводе к ним теплоты низкого уровня температур, а запасы тепловой энергии в указанном температурном диапазоне огромны.

Такими установками небольшой холодопроизводительности являются сорбционные, в которых рабочие смеси обладают не только эффектом сорбции, но и эффектом полной взаимной растворимости компонентов. Сорбционные холодильные машины (далее СХМ) не имеют конкурентов для выработки холода от теплоты низкого потенциала, начиная с температуры, превышающей всего на 10-15 °С температуру среды, охлаждающей конденсатор. В этой связи работа по всестороннему исследованию и совершенствованию СХМ является актуальной, имеющей научное и большое хозяйственное значение.

#### **Цель и задачи работы.**

Цель работы заключается во всесторонних исследованиях режимов работы, улучшении конструкции отдельных элементов, поиске новых рабочих компонентов и их соотношений в смеси с достижением наибольшей холодопроизводительности, определении оптимальных параметров цикла для совершенствования и разработки рабочей установки на ее основе.

В соответствии с выбранной целью решались следующие основные задачи:

- - получение экспериментальных характеристик СХМ и оценка соответствия ее реальных преимуществ теоретически спрогнозированным;
- - подбор новых эффективных рабочих веществ;
- - на основе выявленных экспериментально характеристик более обоснованное прогнозирование области применения СХМ;
- - разработка рабочих чертежей для модернизации бытового холодильника

#### Научная новизна.

Впервые получены экспериментальные характеристики на исследовательском стенде СХМ с разностью температур греющей и охлаждающей сред от 10 до 70 °С.

Опытом подтверждена возможность использования для работы одноступенчатой машины самого низко потенциального тента (при разности температур греющей и охлаждающей вод в пределах от 30 до 40 °С), что выгодно отличает СХМ от теплоиспользующих машин другого типа.

Показано, что за счет улучшения процессов выпаривания, очистки паров от ацетона, рекуперации теплоты между потоками, регулирования потока рабочей смеси и регулирования расхода конденсата обеспечивается повышение эффективности работы СХМ с термосифонным насосом, устойчивость ее работы при утечке легко кипящего компонента и снижение трудоемкости при зарядке машины.

Определена растворимость нового рабочего вещества - роданида аммония - в этиловом спирте, водном растворе этилового спирта 50% / 50% и дистиллированной воде. Разработан метод обработки опытных данных для определения теплоты смешения. Впервые получены численные значения интегральной теплоты смешения (удельной холодопроизводительности) для трех указанных смесей.

### **Практическая ценность**

Расширена практическая возможность использования низкопотенциальной теплоты для выработки холода одноступенчатой машиной до температуры, не менее чем на 10-20 °С превышающую температуру окружающей среды.

Создана термосифонная установка для реализации этой возможности и установлены режимы ее работы..

Разработаны чертежи образца СХМ, предназначенной для обеспечения холодом модернизированного бытового холодильника

### **Апробация работы**

Основные результаты работы доложены на:

- Девятых международных Плехановских чтениях в РЭА им. Г. В. Плеханова в 1996 г.

- Десятью международных Плехановских чтениях в РЭА им. Г. В. Плеханова в 1997 г.

- На научных чтениях, посвященных памяти А. М. Бражникова в МГУПБ в 1997 г.

- На международной конференции « Использование холода на транспорте в регионах с жарким климатом » в Астраханском техническом университете в сентябре 1997 г.

### **Публикации**

Основные положения опубликованы в 6 печатных работах, в том числе в журнале "Холодильная техника" № 7 в 1996 г.

### **Объем и структура работы**

Диссертация включает введение, 5 глав, выводы, список использованной литературы из // наименований и приложения.

Текстовая часть изложена на *92* страницах, содержит *23* рисунка и *10* таблиц.

#### Содержание диссертационной работы

В первой главе обоснована актуальность работы, цель и задачи исследований; во второй изложено описание экспериментальной установки по исследованию термодинамических свойств смесей, приведены новые данные по давлению начала конденсации СПБТЗ (смеси пропан бутановой технической зимней); в третьей рассмотрена методика исследования режимов работы СХМ и результаты исследования; в четвертой даны методика и результаты исследования нового рабочего вещества СХМ; в пятой изложен принцип конструирования СХМ и даны схемные решения и чертежи; в шестой даны возможные области применения СХМ; в заключительной части работы приведены выводы и список использованной литературы.

## II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛА КОНДЕНСАЦИИ СМЕСИ ПРОПАН БУТАНОВОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗИМНЕЙ.

Проанализированы и дополнены наиболее важные свойства рабочих смесей ацетона со смесью пропан бутановой технической зимней (СПБТЗ).

Для работы СХМ необходим правильный выбор массовой доли компонентов смесей. Это возможно при наличии диаграмм давление - массовая доля и энтальпия - массовая доля рабочих смесей. Для построения инженерных диаграмм необходимо исследование наиболее важных свойств рабочих (веществ) смесей:

- 1- давления насыщенного пара смесей;
- 2- теплоемкости смесей;
- 3- интегральных теплот смешения компонентов рабочих смесей.

Систематизированы и обобщены материалы по давлениям начала кипения ацетона с СПБТЗ, теплоемкости смесей ацетона с СПБТЗ, теплотам смешения перспективных рабочих смесей, давлениям начала конденсации смесей с СПБТЗ, полученные ранее во ВНИИХИ.

Из необходимых для инженерных расчетов свойств этих смесей отсутствовали данные по давлениям начала конденсации прежде всего самой СПБТЗ.

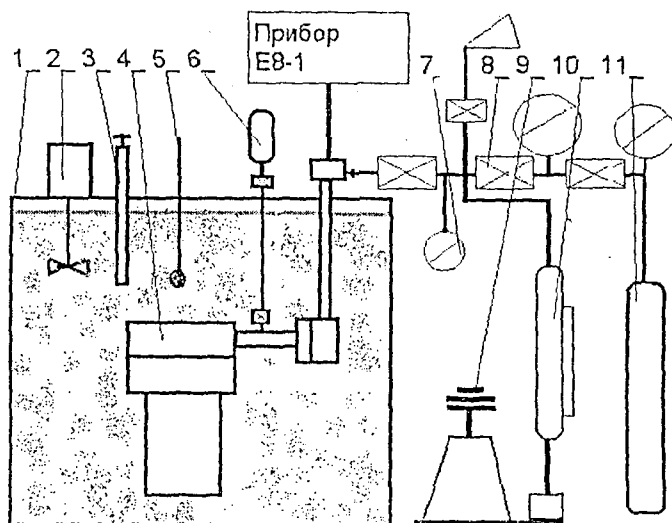
### 2.1. Устройство экспериментальной установки.

За основу установки по определению давлений начала конденсации СПБТЗ была взята схема, изображенная на рис. 1

Она состоит из следующих частей :

- 1- система термостатирования и измерения температуры;
- 2- система измерения давления;





Рис(1) Схема установки для исследования зависимости давление-температура-состав смеси.

3 - пьезометр постоянного объема;

4 - вакуумная установка.

Система термостатирования предназначена для строгого выдерживания температуры рабочей смеси в течение эксперимента. Она включает термостат 1 с диапазоном рабочих температур от минус 60 до 260°C, оснащенный ртутным контактным термометром 3, нагревателем мощностью 1,1 кВт и мешалкой-насосом 2. С помощью этой системы температура теплоносителя поддерживалась автоматически с точностью  $\pm 0,05$  °C. Температура в термостате измерялась ртутным термометром 5 с ценой деления 0,1°C.

В систему измерения давления входит разделительная колонка 10 со смотровым стеклом для определения положения уровня масла, баллона со сжатым азотом 11, пружинных манометров 7, поршневого манометра 9, системы трубопроводов с вентилями 9 для передачи и регулирования давления.

Атмосферное давление измеряли барометром ртутным с ценой деления 66,66 Па, пределы измерений от 79992 Па до 109322 Па. Относительная погрешность измерения абсолютного давления равна 0,666 Па. Емкостной мембранный нуль-индикатор пьезометра 4 фиксирует равенство давления в системе и внутри пьезометра 4. Он состоит из корпуса толщиной 30 мм из стали X18H9T, крышки толщиной 25 мм с приваренным к ней штуцером для соединения с пьезометром 4. В крышке имеется отверстие диаметром 1 мм для подвода исследуемого вещества к мембране. В выемке внутри корпуса датчика крепятся два электрода из стали X18H9T. Эти электроды проводами соединены с прибором Е8-1, который по измеряемой емкости фиксирует изменения положения мембраны относительно электродов. По оценке чувствительность нуль индикатора не ниже 0,0002 МПа

Пьезометр 4 представляет собой сосуд высокого давления, выполненный из стали X18H9T со съемной крышкой. Внутри пьезометра на пружине подвешена мешалка. Пьезометр 4 соединен с мембранным нуль индикатором с помощью вентилей и разъемных соединений. Они предназначены для облегчения операций сборки блока, проверки его на герметичность, а также для перезарядки смесью очередной массовой доли легкокипящего компонента. Легкокипящий компонент перепускали в пьезометр 4 из баллона 6. Работа установки была проверена на хорошо изученном веществе -хладоне 22.

Составление смеси производили на вакуумной установке, которая собрана по стандартной схеме. Смесью составляли весовым методом.

## 2.2.Методика проведения эксперимента и опытные данные.

Проведение эксперимента начинали с наименьшей температуры в термостате 1. Измерение температуры производили после установления термодинамического равновесия в составленной и введенной в пьезометр смеси заданной массы и заданной массовой долей при выдержке от 30 до 60 минут.

Устанавливали лимб прибора Е8-1 такой же, как и при тарировке. Давление, при котором стрелка индикатора находилась в максимальном отклонении вправо при наименьшей чувствительности прибора, регистрировали как  $P_{ман}$ .

Температуру в термостате повышали и снова измеряли давление указанным способом до измерения давления при максимальной температуре в термостате.

Абсолютное давление рассчитывали по формуле:

$$P_{абс} = P_{ман} + P_{бар},$$

где  $P_{абс}$  - абсолютное давление СПБТЗ, Па

$P_{ман}$  - давление, измеренное поршневым манометром, Па.

Рбар - барометрическое давление в момент опыта, Па

$$P_{\text{ман}} = P_1 + P_2/0,5019,$$

где  $P_1$  - давление подвижного поршня, Па

$P_2$  - вес грузов и разновесов, кгс;

0,5019 см<sup>2</sup> - переводной коэффициент.

Для получения зависимости давление-температура на линии начала конденсации необходимо, чтобы паровая фаза занимала весь объем пьезометра. Тогда при повышении температуры в термостате определяли излом в ходе производной от давления по температуре при постоянном объеме.

В точке излома давление равно давлению смеси на линии начала конденсации при температуре в точке излома. При этом массовая доля пара равна массовой доле введенной в ~~пьезометр~~<sup>баз</sup> жидкой фазы СПБТЗ.

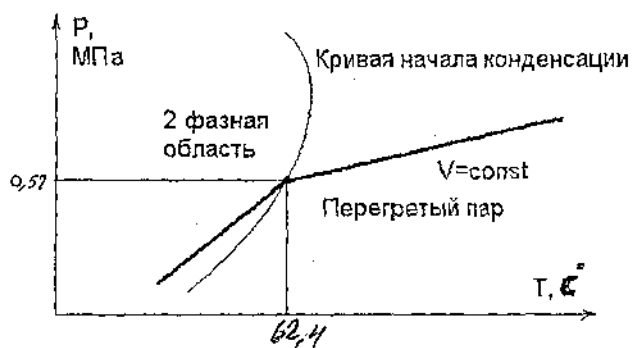
Перезарядка проводилась несколько раз. По данным в точках излома производной ( $dP/dT$ ) при постоянном объеме пьезометра и массе смеси была построена пограничная кривая начала конденсации СПБТЗ.

Методика нахождения точки излома пояснена рис.2 Опытные данные приведены в табл. 1, а кривая начала конденсации СПБТЗ - на рис. 3.

Таблица 1.

T, К	298,65	299,55	335,55	328,83	335,45	333,55	335,15	354,45
P, Мпа	0,31	0,33	0,52	0,57	0,62	0,64	0,68	0,78
t, °C	25,5	26,4	62,4	55,68	62,3	60,4	62	81,3

Погрешность опытных данных не выходила за пределы, обеспечивающие достоверность данных для проведения инженерных расчетов.



Рис(2) Нахождение точки излома.

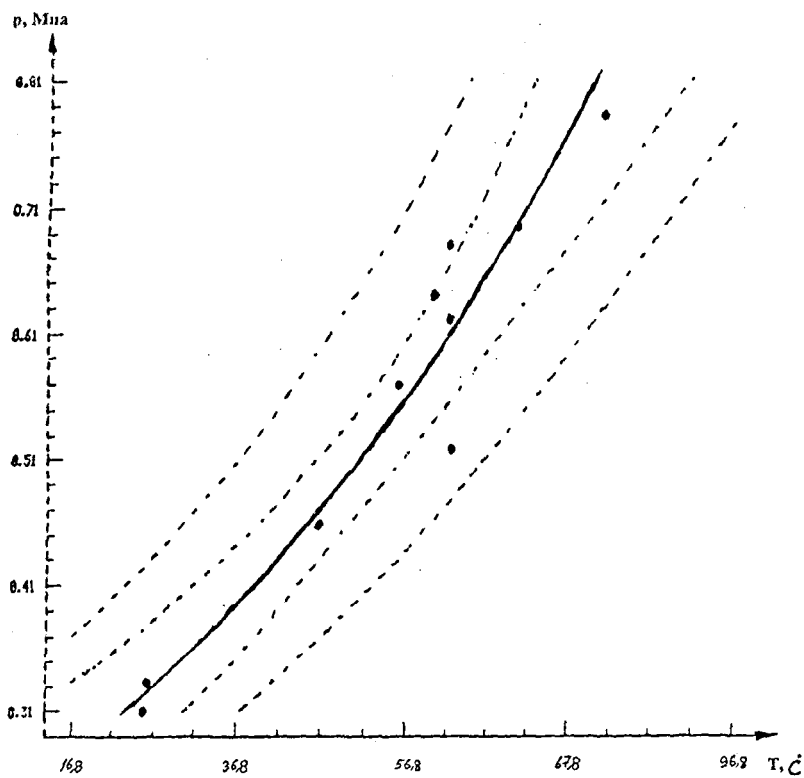


Рис. (3)

Кривая начала конденсации С.П.Б.Т.З. в области возможной работы С.Х.М.

### III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

#### 3.1. Устройство исследовательского стенда.

Схема СХМ показана на рис.4. Машина состоит из теплоизолированной камеры 1 с размещенным в ней смесителем 2, трех поточного теплообменника 3, двух поточного теплообменника 4, генератора 5, вентиля для заполнения системы компонентами рабочего вещества и регулирующих вентилях, отделителя жидкости 6, дефлегматора 7, конденсатора 8. Термосифонный насос образован генератором 5 и отделителем жидкости 6. СХМ в целом представляет собой термосифонную тепловую трубу.

Генератор 5 - теплообменник змеевикового типа из нержавеющей стали помещен в цилиндрический кольцевой кожух, окруженный теплоизоляцией. По змеевику из трубок циркулирует рабочая смесь, а в межтрубном пространстве - горячая вода.

Конденсатор 8, как и генератор выполнен с цилиндрическим кольцевым кожухом. Конденсатор размещен выше отделителя жидкости 6.

Двух поточный теплообменник 4 генератора 5 типа "труба в трубе" змеевикового типа теплоизолирован снаружи. По внутренней трубе циркулирует слабый раствор, а по внешней протекает противотоком рабочая смесь.

Трех поточный теплообменник 3 так же типа "две трубы в трубе" змеевикового типа помещен в теплоизолированную камеру. По внешней трубе циркулирует рабочая смесь. По внутренним трубам противотоком рабочей смеси движутся слабый раствор и конденсат.

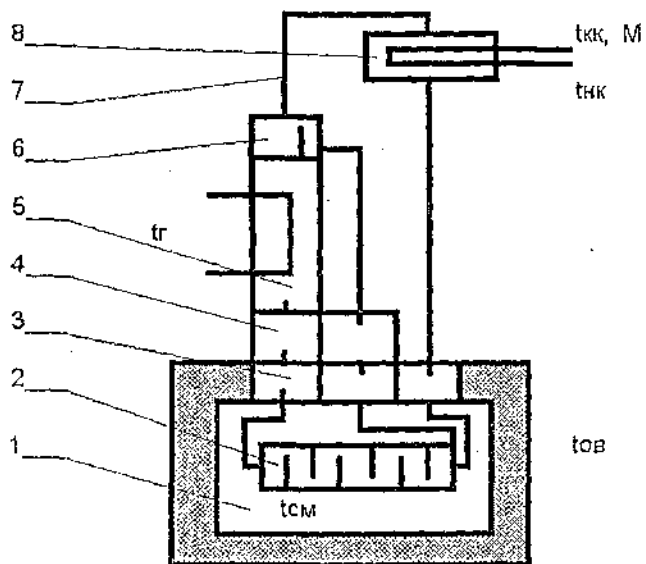


Рис (4) Схема исследовательского стенда СХМ



Смеситель 2 является продолжением трех поточного теплообменника 3. Слабый раствор и конденсат вытесняются во внутреннюю полость наружной трубы, где происходит их смешение с (поглощением теплоты) выработкой холода. Образовавшаяся рабочая смесь внутри внешней трубы движется под действием разности плотностей столбов жидкостей конденсата и слабого раствора к двух поточному теплообменнику 4 и затем в генератор 5.

Дефлегматор 7 изготовлен в виде оребренной трубы. Труба дефлегматора 7 установлена с наклоном в сторону отделителя жидкости 6 для сбора флегмы, стекающей под действием силы тяжести. Отделитель 6 жидкости выполнен в виде отрезка трубы .

### 3.2. Принцип работы СХМ.

Внутрь машины вводится смесь, компоненты которой в жидком виде при смешении поглощают теплоту во всем рабочем диапазоне температур. Как правило, легче всего использовать двухкомпонентные смеси 50% пропана плюс 50% ацетона или 50% спирта плюс 50% ацетона. Допускается использование многокомпонентных смесей. Машина заполняется таким количеством жидкости, чтобы в рабочем состоянии уровень рабочей смеси находился в пределах отделителя 6 жидкости, но ниже патрубков подвода парожидкостной смеси из генератора 5.

Машина работает следующим образом (см. рис.4). Теплоноситель с температурой начиная от 10 до 20 °С выше температуры охлаждающей среды, подводят к генератору 5, а охлаждающую среду (воду, воздух) - к конденсатору 8 и дефлегматору 7.

В генераторе 5 образуется парожидкостная смесь. За счет пара уровень смеси подымается выше уровней сплошных жидкостей слабого раствора и пропана, а также выше патрубка в отделителе жидкости 6 подвода парожидкостной смеси из генератора 5.

Пар направляется в дефлегматор 7, а слабый раствор стекает через двух поточный теплообменник 4 генератора 5, трех поточный теплообменник 3, вступая в рекуперацию с двумя другими потоками рабочей смеси и конденсата.

Пар, проходя отделитель 6 жидкости и дефлегматор 7 очищается от высококипящего компонента (ацетона), образуя флегму.

Пар в конденсаторе 8 конденсируют отводом теплоты в окружающую (охлаждающую) среду. Конденсат под действием силы тяжести стекает через трех поточный теплообменник 3, вступая в теплообмен с рабочей смесью и слабым раствором. В смесителе 2 слабый раствор и конденсат смешиваются. При этом поглощается теплота  $q_{см}$  (кДж/кг рабочей смеси). Это поглощение определяет удельную холодопроизводительность килограмма рабочей смеси.

Холодная рабочая смесь, проходя теплообменники 3, 4, охлаждает слабый раствор и конденсат. Под действием давления столбов слабого раствора и конденсата рабочая смесь проходит через теплообменники в генератор 5, где выпаривается до слабого раствора.

#### **Исследование режимов работы.**

При исследовании в машине находилось рабочее вещество, состоящее из ацетона на 50 % и смеси пропан бутановой технической зимней (СПБТЗ) на 50 %. СПБТЗ используется в быту в газовых плитах.

В генератор 5 сорбционной машины (см. рис.4) насосом подавали горячую воду, температуру которой  $t_g$  измеряли с погрешностью 0,5 °С. Конденсатор охлаждали водопроводной водой. При этом измеряли расход воды  $M$ , ее начальную  $t_{пк}$  и конечную  $t_{кк}$  температуры. Также измеряли температуру  $t_{см}$  смесителя 2 и температуру  $t_{ов}$  окружающего воздуха. Температуры  $t_{см}$  и  $t_{ов}$  фиксировали лишь при длительности установившегося режима не менее часа.

Были проведены две серии опытов. В первой серии поддерживали постоянными расход и температуру греющей воды  $t_g$  при изменении расхода  $M$  и постоянстве температуры  $t_{нк}$  охлаждающей воды. Во второй серии поддерживали постоянной температуру воды  $t_{кк}$  на выходе из конденсатора 8 и изменяли температуру  $t_g$  при постоянстве расхода греющей воды. Результаты опытов показаны на рис. 5 и 6, причем рисунок 5 относится к первой серии опытов, а рисунок 6 - ко второй серии.

Опытные данные показаны точками. Кривые на рис. 5 и 6 объединяют стабильные минимальные значения достигнутых температур. Область температур выше этой граничной линии является областью достижимых режимов исследованного термосифонного макетного образца сорбционной холодильной машины. Область достижимых режимов зависит как от совершенства конструкции сорбционной холодильной машины, так и от интегральных теплот смешения компонентов рабочего вещества и кратности его циркуляции, обеспечиваемой устройством и рабочими характеристиками термосифона.

На рис.5 показана зависимость температуры  $t_{см}$  в камере 1 от расхода  $M$  охлаждающей воды через конденсатор 8. Так как сорбционная холодильная машина является одновременно и тепловой трубой, то на рис.5 ход экспериментальных точек отразил два режима ее работы: режим холодильной машины при низких расходах  $M$  и режим тепловой трубы при высоких расходах  $M$ . Место зоны перехода от одного режима к другому по расходу  $M$  охлаждающей воды зависит от соотношения производительностей термосифона и тепловой трубы по перекачке рабочего вещества в полости сорбционной машины. Возможность работы машины в режиме тепловой трубы является еще одним существенным преимуществом сорбционной холодильной машины. Режим работы

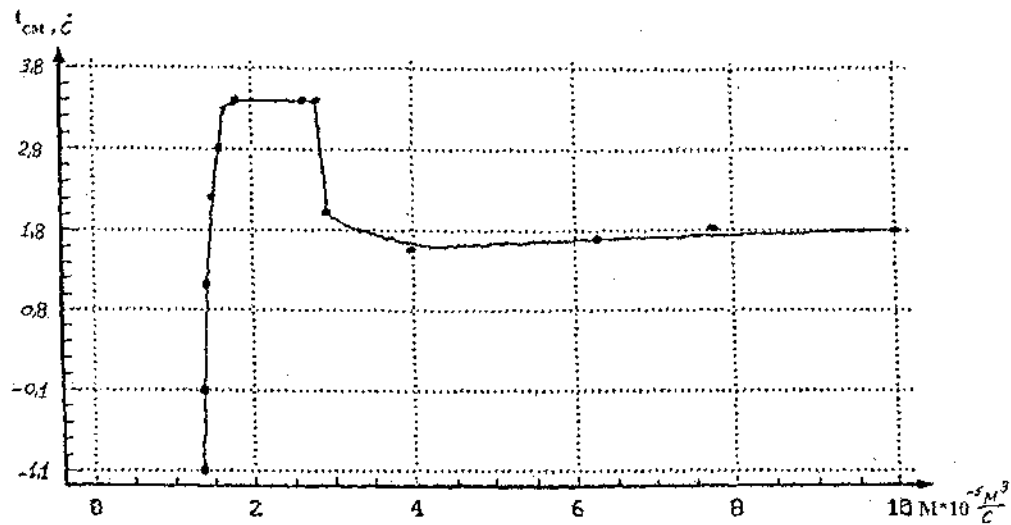


Рис. (5).  
Зависимость температуры смещения от расхода охлаждающей воды

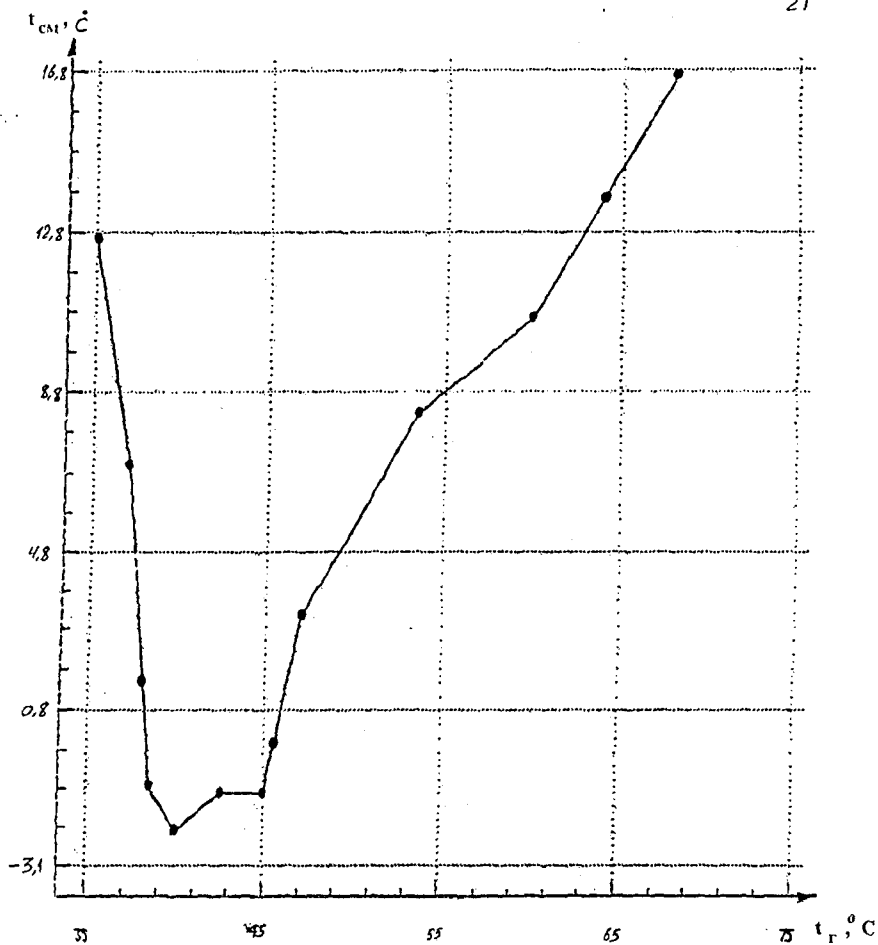


Рис.(6)

Зависимость температуры смешения от температуры горячей воды

тепловой трубы, обеспечивает использование природного холода для охлаждения объекта и позволяет сократить время выхода холодильной машины на рабочий режим без потребления тепловой энергии. При этом обеспечивается только охлаждение, так как машина в режиме тепловой трубы обладает свойством теплового ключа, то есть передает тепло только в направлении от смесителя 2 к конденсатору 8.

На рис.6 показана зависимость температуры  $t_{см}$  в камере 1 от температуры  $t_g$  горячей воды, подаваемой в генератор 5 при постоянном ее расходе. V - образный ход экспериментальных точек при постоянной тепловой нагрузке машины свидетельствует о достижении максимальной холодопроизводительности в определенном интервале температур греющей воды.

В данном случае этот интервал находился в пределах от 40 °С до 47 °С. Численные значения максимальной холодопроизводительности определены как совершенством конструкции машины, так и численным значением интегральной теплоты смешения компонентов рабочего вещества и кратностью циркуляции последнего. Вид же зависимости, показанной на рис. 6, отражает, в основном, закономерности работы термосифонного насоса, установленного в машине.

Результаты проведенного экспериментального исследования работы макета машины по численным значениям давления внутри машины, расходу охлаждающей воды и уровню температур (1 °С - -2 °С) выработанного холода находятся в пределах аналогичных параметров абсорбционных холодильных машин. Подтвержденная опытом возможность использования для работы одноступенчатой машины самого низко потенциального теплоносителя в данном случае при разности температур греющей и охлаждающей вод в пределах от 30 °С до 40 °С) выгодно отличает ее от теплоиспользующих машин другого типа.

Опыты на макете сорбционной машины с механическим насосом для перекачки рабочего вещества подтвердили выработку холода на уровне минус 30 °С. Установленный экспериментально в настоящее время тепловой коэффициент (от 5% до 10%) может быть значительно увеличен подбором новых эффективных рабочих веществ и дальнейшим совершенствованием как конструкции в целом, так и ее отдельных элементов.

#### IV. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ РОДАНИДА АММОНИЯ-НОВОГО РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА СХМ.

Уральский Углехимический институт предложил применять роданид аммония как компонент теплоносителя или рабочего вещества сорбционных холодильных машин в связи со значительными объемами производства этого вещества и сравнительно небольшой себестоимостью. Однако, такие важные свойства рабочего вещества как растворимость и теплота смешения компонентов, определяющие основные показатели работы цикла СХМ, не были исследованы.

Растворимость определяли в термостатированной колбе (сосуде Дьюара) путем заливки растворителя и периодического внесения по 1 грамму соли после полного растворения предыдущей порции соли при непрерывном перемешивании до насыщения раствора. Результаты сведены в табл.2.

Таблица 2

Растворитель	Этиловый спирт 96%	Водный раствор этилового спирта 50% / 50%	Водный раствор этилового спирта 50% / 50%	Дистиллированная вода
Температура термостатирования, °С	16,8	5,1	-2,8	-9,0
Массовая доля соли	0,174	0,310	0,370	0,462

Из табл.2 видно, что наилучшим растворителем для роданида аммония является вода. Для выработки холода на уровне отрицательных температур предпочтительнее использовать водный раствор этилового спирта.

Теплоту смешения измеряли на калориметре смешения с теплоизолированной оболочкой. Вначале путем смешения льда и воды



определили тепловое значение калориметра -  $S_k$ . Опытные данные обработаны методом регрессионного анализа для получения зависимости теплового значения калориметра от количества раствора, находящегося в нем:

$$S_k = 1 / (0,168683 - 2,6266 \times 10^{-4} \cdot G), \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{K}),$$

где  $G$ , г - масса раствора, находящегося в калориметре.

Интегральную теплоту смешения трех указанных смесей определяли растворением навески соли роданида аммония в заданном количестве растворителя. Измеряли начальные параметры компонентов и конечные параметры раствора. Интегральную теплоту смешения рассчитывали по тепловому балансу с учетом теплового значения калориметра. Результаты расчетов для водного раствора роданида аммония при начальной температуре воды в  $13,6 \text{ }^\circ\text{C}$  сведены в табл.3.

Таблица 3

Массовая доля соли	Интегральная теплота смешения, Дж/г смеси
0,047	41,2
0,091	55,7
0,130	92,6
0,167	115,3
0,200	130,4
0,231	157,5
0,259	162,8
0,286	177,0
0,310	186,8
0,333	193,3
0,355	201,5
0,375	215,1
0,462	252,3

Зависимость интегральной теплоты смешения от массовой доли роданида аммония показана на рис.7. Впервые измеренные численные значения растворимости и интегральной теплоты смешения (удельной холодопроизводительности) водного раствора роданида аммония подтверждают перспективность его применения в качестве рабочего вещества СХМ.

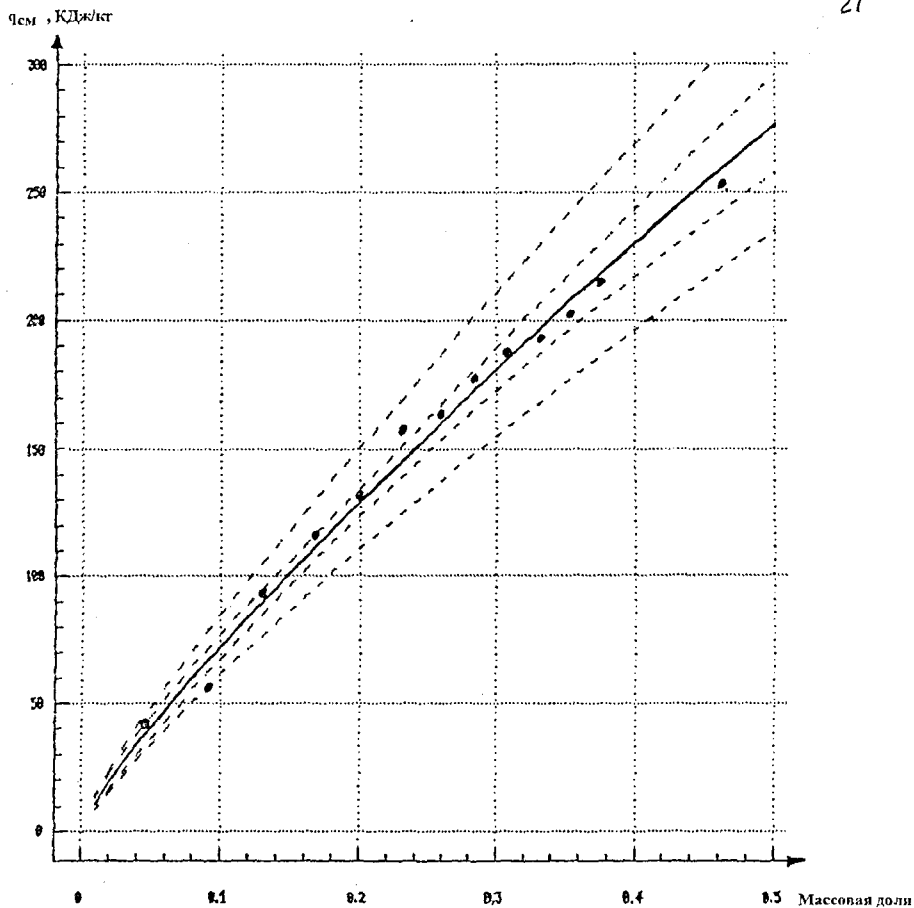


Рис. (7)

Интегральная теплота смешения Раданида аммония с водой

## У.РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ СХМ.

Основным базовым материалом для дальнейшего совершенствования СХМ явился опыт, полученный при испытаниях и отладке лабораторного образца. Главными параметрами для создания рабочих чертежей были коэффициент полезного действия, установленный экспериментально и находящийся в пределах от 5 до 10%, экспериментальные и расчетные данные, полученные во ВНИИХИ, а также в данной работе. С учетом изложенного разработаны рабочие чертежи сорбционной холодильной машины на базе бытового холодильника путем замены его холодильного агрегата на СХМ. Проектная холодопроизводительность составляет 0,3-0,4 кВт. Ее рабочим веществом является смесь 50% ацетона с 50% СПБТЗ. Принципиальная схема термосифонной СХМ представлена на рис. 8.

Машина состоит из конденсатора 1, обдуваемого электровентилятором, коллектора 2, запорных вентилей 3, манометра 4, штуцера 5 для зарядки, отделителя жидкости № 1-6, отделителя жидкости № 2-7, четырех секций № 1-8 генератора, секции № 2-9 генератора, двух поточного теплообменника 10 генератора, двух поточного теплообменника 11 конденсатора и трех поточного теплообменника-смесителя 12.

В качестве конденсатора принят стандартный воздухоохладитель ВО-10 с принудительной циркуляцией воздуха. Двигатель вентилятора потребляет мощность 0,12 кВт. Конденсатор размещен над корпусом холодильника для обеспечения работы термосифонного насоса.

Заправка СХМ рабочей смесью производится сверху через штуцер 5 и запорный вентиль 3 в нижней части секций № 1 генератора. На коллекторе 2 установлен манометр 4 (ОБМ-100).

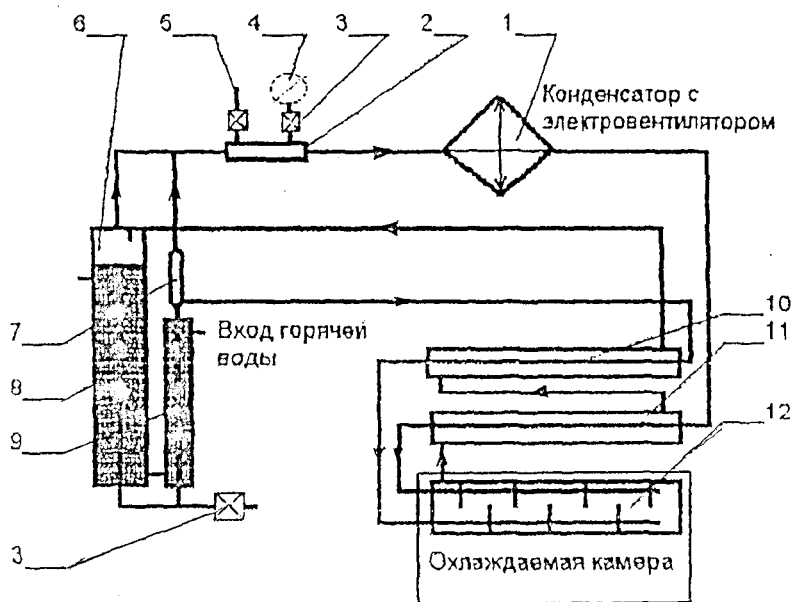


Рис.(8). Схема термосифонной СХМ для модернизированного бытового холодильника

Габариты модернизированного холодильника составили по высоте 1900 мм, по ширине - 730 мм, по длине - 800 мм.

Источником энергии для работы СХМ, кроме электроэнергии на привод вентилятора, может быть как вода из системы горячего водоснабжения, так и вода, нагреваемая в солнечных коллекторах.

Конденсатор с воздушным охлаждением может быть заменен на конденсатор с водяным охлаждением при наличии обратного водоснабжения.

## VI. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СХМ.

В этой главе на основе выявленных характеристик СХМ более обоснованно спрогнозированы области их применения. Самостоятельно СХМ могут работать от солнечной энергии, биогаза, термальных природных вод, системы горячего водоснабжения и отопления. В зимний период, работая в режиме тепловой трубы, они могут охлаждать камеры встроенных бытовых холодильников, используя только холод окружающей среды. Наиболее перспективна работа СХМ в сочетании с работой двигателей внутреннего сгорания и работой компрессионных холодильных машин. Например, при использовании теплоты, выбрасываемой через радиатор грузовой машины типа "КАМАЗ" в атмосферу, СХМ с ее фактическим в настоящее время КПД достаточно для охлаждения теплоизолированного кузова при перевозке овощей и фруктов. СХМ не чувствительна на изменение ориентации в пространстве и может работать при установке её на транспортных средствах. Особый интерес представляет СХМ для создания холодильников и кондиционеров на легковых автомобилях и грузовых автомобилях междугороднего и международного сообщения. Теплота перегрева паров после сжатия в компрессоре может быть использована для дополнительной выработки холода и охлаждения им хладагента перед терморегулирующим вентилем или перед капиллярной трубкой бытового холодильника.

## VII. ВЫВОДЫ

1. Анализ применяемых теплоиспользующих холодильных машин показал, что для их работы используется лишь высокопотенциальное тепло. Диапазон температур до 70 °С и соответствующая ему теплота теплоносителей являются для выработки холода не-используемыми. Тем самым огромные запасы тепловой энергии часто просто сбрасываются в окружающую среду. Поэтому создание СХМ, использующих для выработки холода теплоносители с температурой выше температуры охлаждающей среды, начиная с 10 - 20 °С, является актуальным и перспективным.

2. На установке по исследованию фазового равновесия компонентов рабочих смесей получены данные по давлениям начала конденсации смеси пропан бутановой технической зимней (СПБТЗ), необходимые для правильного выбора массовой доли компонентов рабочей смеси СХМ..

3. На испытательном стенде СХМ с рабочим веществом, состоящим из ацетона (50%) и пропан бутановой смесью технической зимней (50%) проведены испытания и получены зависимость температуры смесителя от расхода охлаждающей воды и зависимость температуры смесителя от температуры греющей воды. Результаты проведенного экспериментального исследования по численным значениям давления внутри машины, расходу охлаждающей воды и уровню температур выработанного холода (1...-2 °С) находятся в пределах аналогичных параметров абсорбционных холодильных машин. В то же время, подтвержденная опытом возможность использования для работы одноступенчатой машины самого низко потенциального тепла (в данном случае при разности температур греющей и охлаждающей воды в пределах от 30 до 40 °С) выгодно отличает СХМ от теплоиспользующих машин другого типа.



4. Исследованы свойства нового рабочего вещества СХМ - растворов роданида аммония. Впервые измеренные числовые значения растворимости, интегральной теплоты смешения (удельной холодопроизводительности) водного раствора роданида аммония подтвердили перспективность его применения в качестве рабочего вещества СХМ

5. Разработаны рабочие чертежи СХМ, предназначенной для обеспечения холодом модернизированного бытового холодильника

6. Выявленные экспериментальные характеристики СХМ позволяют более обоснованно прогнозировать области их применения. Наиболее перспективная область - бытовые холодильники. Встроенные бытовые холодильники в жилых домах будут потреблять зимой наружный холод, а летом работать от системы горячего водоснабжения. От этой системы могут работать и кондиционеры с СХМ. В бытовых холодильниках и кондиционерах может быть использована энергия солнечного излучения, полученная с помощью солнечных коллекторов. На холодильниках агропромышленного комплекса и торговли СХМ позволяет дополнительно выработать холод за счет использования теплоты перегрева паров хладагента и теплоты охлаждающего масла винтовых компрессоров. Другая область использования СХМ - автомобильный транспорт, выбрасывающий в окружающую среду огромное количество тепла на уровне более 70 °С.

### Работы, опубликованные по теме диссертации.

1. Сорбционная теплоиспользующая холодильная машина: результаты испытаний, преимущества, области применения./ Латышев В. П., Аль Тавиль Мохаммад Талал, Лебедев В.Ф.- журнал "Холодильная техника" № 7, 1996, стр.29.

2. Теплоиспользующие холодильные машины / Лебедев В.Ф., Аль Тавиль Мохаммад Талал. В сб. "IX международные Плехановские чтения" - М., РЭА им. Г. В. Плеханова, 1996, стр.45.

3. Экспериментальная сорбционная теплоиспользующая холодильная машина(СТХМ) / Лебедев В.Ф., Аль Тавиль Мохаммаж Талал, Латышев В.П.--В сб. "IX международные Плехановские чтения" - М., РЭА им. Г. В. Плеханова, 1996, стр. 45.

4. Исследование свойств растворов роданида аммония - нового рабочего вещества сорбционных холодильных машин. / Лебедев В.Ф., Аль Тавиль Мохаммад Талал, Латышев В.П. В сб. "X международные Плехановские чтения" - М., РЭА им. Г. В. Плеханова, 1997, стр.40.

5. Особенности цикла работы сорбционной теплоиспользующей холодильной машины. / Латышев В.П., Лебедев В.Ф., Аль Тавиль Мохаммад Талал.- В сб. "Научные чтения, посвященные памяти А. М. Бражникова", М., МГУПБ, 1997 г.

6. Перспективы развития и применения на транспорте экологически безопасных сорбционных холодильных машин. / Латышев В.П., Лебедев В.Ф., Аль Тавиль Мохаммад Талал. - В сб. Международной конференции

"Использование холода на транспорте в регионах с жарким климатом". Астрахань, 1997, сентябрь.

*Аль-Тавиль*  
*Аль-Тавиль*