

На правах рукописи

Аль Набулси Башар Самир

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ РАЦИОНАЛЬНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ БЫТОВЫХ
ХОЛОДИЛЬНИКОВ С АБСОРБЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ
АГРЕГАТАМИ (АДКА) С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ

Специальность 05.04.03 - Холодильная и криогенная техника,
системы кондиционирования

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1995

47.5
Робота виконана в

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761582 (T)

Научний керівитель

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
В.И. Милованов
старший науковий співробітник, кандидат
технічних наук А.С. Титлов

Ведущая організація - Інститут Нових Технологій г.Одеси

Захист проводиться "25" 12 1995 г. в _____ годин
на засіданні спеціалізованого Ради Д 068.27.01 при
Одеської Державної Академії Холоду по адресу:
270100, г. Одеса, ул. Петра Великого, 1/3

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Одеської Державної Академії Холоду по адресу:
270100, г. Одеса, ул. Петра Великого, 1/3
Автореферат розослан "___" _____ 1995 г.

Учений секретар
спеціалізованого Ради

В.А. Калайдерьян

д.т.н., професор

Иск. №

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Актуальность темы. Современные тенденции развития бытовой холодильной техники отличаются существенной противоречивостью. С одной стороны повышение требования к экономичности холодильных установок, увеличение их производительности стимулируют расширение областей применения парокомпрессионных холодильных машин. С другой стороны ужесточение экологических требования к отбору хладоносителей, необходимость перехода на новые холодильные агенты открывают новые перспективы по расширению сфер применения хорошо известных ранее, но существенно менее экономичных, чем парокомпрессионные, абсорбционных, парожетонных и других типов холодильных машин. Среди этих машин известными достоинствами обладают абсорбционно-диффузионные холодильные агрегаты (АДХА).

Традиционно их сфера применения ограничивалась бытовыми холодильниками среднего и малого объема (от 150 + 200 л до 15 + 30 л). Такое ограничение определялось как достижимым уровнем холодопроизводительности АДХА, так и в не меньшей мере, традициями конструирования системы холодильный шкаф (ХШ) + АДХА. Сложившаяся практика конструирования, при которой источник холода (испаритель АДХА) непосредственно встраивался во внутренний объем холодильного шкафа, определяла пространственную форму конструкции АДХА, приводила к уменьшению полезных объемов холодильной и морозильной камер, не способствовала минимизации термического сопротивления между источником холода и охлаждаемым объемом, существенно ограничивала возможности повышения экономичности и холодопроизводительности.

Выдвинутая на кафедре СТР ОГХА идея использования тепловых труб и теплопередающих панелей для конструирования ХШ с АДХА с целью устранения указанных недостатков была реализована в ряде разработок отечественных специалистов.

Было показано, что по этому пути может быть достигнут определенный прогресс в создании более эффективных холодильников, в расширении номенклатуры применения АДХА, как существенно "более чистых" в экологическом отношении источников холода. Однако внедрение и развитие достигнутого, в значительной мере, сдерживались отсутствием основ математического экспериментального моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА и теплопередающими панелями. Указанными соображениями и определялась актуальность темы предстоящей диссертации.

Цель исследования по теме диссертации состоит в создании основ математического и экспериментального моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА и теплопередающими панелями для совершенствования конструкции таких холодильников и существенного расширения сферы их применения.

Научную новизну исследований по теме диссертации составили следующие основные результаты:

- методики экспериментального моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА, включая конструкции ХШ с несколькими АДХА и теплопередающими панелями;
- методики математического моделирования тепловых режимов ХШ на основе решения трехмерных уравнения теплопроводности, а также на основе приближенных моделей, опирающихся на электротепловую аналогию;
- результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований тепловых режимов ХШ с АДХА и теплопередающими панелями и следующие из них предложения по конструированию подобных холодильников.

По результатам исследования сформулировано и обосновано следующее научное положение:

- введение теплопередающих панелей на основе тепловых труб или испарительных термосифонов в качестве эффективных тепловых связей между холодильным агрегатом и внутренним объемом холодильной камеры позволяет существенно повысить эффективность холодильников с абсорбционно-диффузионными холодильными агрегатами, расширить сферу их применения, упростить конструкцию агрегатов.

Обоснованность рекомендаций, результатов и научного положения обеспечивается применением надежных методик экспериментальных исследований, удовлетворительным согласованием результатов экспериментальных и расчетных исследований, воспроизводимостью опытных данных.

Практическая ценность исследования по теме диссертации состоит в создании согласованного экспериментального и математического моделирования тепловых режимов холодильных шкафов с АДХА и теплопередающими панелями для отработки эффективных конструкций холодильников.

Апробация работы: Результаты исследования по теме диссертации докладывались на научной конференции профессорско-преподавательского состава ОГАХ в 1994 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы в соавторстве статья Башар Аль Набулси, М.А. Букраба, Г.Ф. Смирнов "Экспериментальное моделирование работоспособности бытовых холодильников с АДХА при повышенных температурах окружающей среды" в "Теория и практика вузовской науки" ОГАХ, Одесса, 1995 г. Вторая статья прошла экспертную оценку 4-х экспертов и принята редакцией журнала "Refrigeration" к опубликованию.

Содержание работы

В первой главе представлены:

1. Анализ существующих и предлагаемых к разработкам конструкций бытовых холодильников с абсорбционно-диффузионными холодильными агрегатами.
2. Обзор работ по применению тепловых труб и испарительных термосифонов (ИТС) для совершенствования АДХА и бытовых холодильников на их основе.
3. Анализ экспериментальных и теоретических исследования конструкций бытовых холодильников с АДХА и панелями на основе ИТ, ИТС и твердых теплостоков.
4. Анализ методов и средств экспериментальных исследования холодильных шкафов и их отдельных частей.

На основе выполненного анализа в первой главе сделаны выводы и сформулированы следующие задачи исследований:

1. Разработка экспериментальных стендов и методик, позволяющих диагностировать работоспособности АДХА и определить эффективность конструкций шкафов. Разработка методик испытаний.
2. Проведение экспериментальных исследований температурного поля в объеме ХШ с применением ХРП на базе серийно выпускаемых АДХА. Определение на основе экспериментальных результатов принципиальных теплотехнических и конструкторских проблем по рациональному использованию ХРП.
 1. Анализ и обсуждение результатов экспериментальных исследований макетов и морозильных шкафов различного исполнения с гладорассеивающими панелями (ХРП) и без них. Исследование и анализ усовершенствованных конструкций АДХА.
 4. Проведение расчетно-теоретических исследований тепловых режимов холодильных и морозильных шкафов с АДХА. Построение расчетно-теоретической модели стационарных тепловых режимов холодильного и морозильного шкафов с АДХА.

Во второй главе приводится описание экспериментальных методов и средств исследования. Объектами исследования являлись различные конструкции ХШ с абсорбционно-диффузионными агрегатами. Основные измерения в опытах - температурные. Экспериментально изучались условия работы ХШ, в стационарных и нестационарных режимах. Проводились температурные измерения в 20-40 точках. С этой целью использовался контрольно-измерительный комплекс, обеспечивающий автоматический сбор и регистрацию первичных данных.

Для проведения экспериментальных исследования температурных характеристик ХШ использовался специальный макет с переменным полезным объемом (от 90 дм³ до 400 дм³). Теплоизоляция каркаса осуществлялась пенополиуретановыми плитами. Конструкция макета ХШ позволяла устанавливать АДХА на любой высоте. Имелась возможность устанавливать в ХШ одновременно два АДХА как вертикально, так и на противоположных плоскостях шкафа. В принятой конструкции макета ХШ использовалась передвижная перегородка (рис. 1).

Экспериментальные исследования проводились также со стандартным холодильным шкафом "Кристалл-404-1", объемом 150 л. Внешний вид ХШ и схема установки термопреобразователей по плоскостям показана на рис. 2. Существенное место занимали исследования тепловых режимов ХШ с хладорассеивающими панелями на основе ТТ.

На отдельной экспериментальной установке испытывалась работоспособность АДХА, с различными вариантами обрешетки абсорбера с организацией естественной тяги и другими мероприятиями, направленными на интенсификацию внешнего теплообмена. Проведен анализ погрешностей, который показал, что полученные экспериментальные данные могут использоваться для рационального конструирования бытовых холодильников.

В третьей главе приводятся и обсуждаются основные результаты по экспериментальному изучению тепловых режимов на макетах ХШ различного объема, натурный ХШ типа "Кристалл" обычной конструкции и с хладорассеивающими панелями (ХРП). Проанализированы возможные варианты конструкции ХШ увеличенного объема (до 390 дм³), проведены экспериментальные исследования температурных полей, показана эффективность применения двух, трех и более АДХА, работающих одновременно.

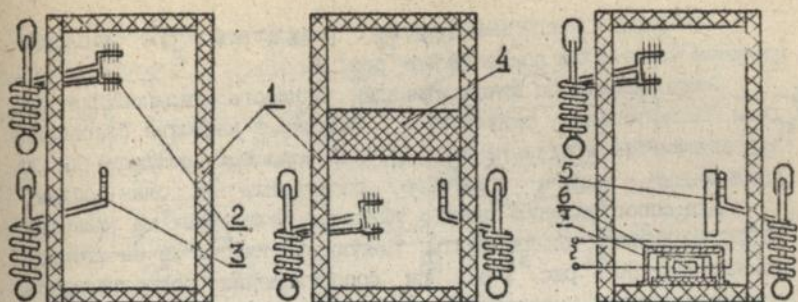


Рис.1. Исследованные варианты расположения АДХА в объеме ХШ:

- 1 - холодильный шкаф полезным объемом 390 лм³;
- 2 - АДХА с объемной конструкцией испарителя;
- 3 - АДХА с плоскостной конструкцией испарителя;
- 4 - теплоизоляционная перегородка;
- 5 - хладорассеивающая панель;
- 6 - нагреватель с мощностью 70 Вт;
- 7 - экран

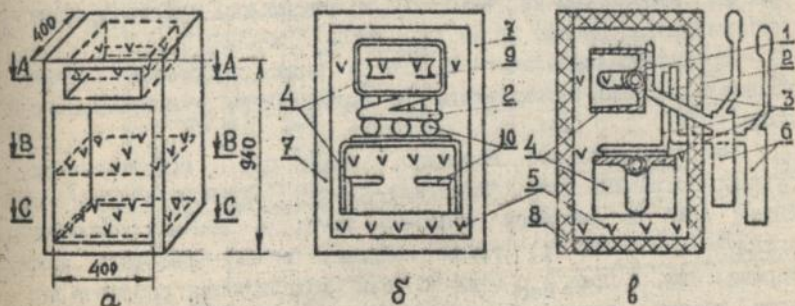


Рис.2. Схема установки ХРП в экспериментальном шкафу ХШ типа "Кристалл-404-1" с двумя АДХА:

- а - схема установки термпреобразователей, б - вид сверху,
- в - продольный разрез ХШ; 1 - испаритель штатного АДХА;
- 2 - испаритель дополнительного АДХА; 3 - тепловые трубы;
- 4 - ХРП с плавниковым оребрением; 5 - термпреобразователи;
- 6 - АДХА; 7 - корпус ХШ; 8 - дверь ХШ; 9 - П-образная ТТ;
- 10 - Г-образная ТТ

Некоторые экспериментальные результаты по тепловым режимам макетов XIII показаны на рис. 3.

Эксперименты по интенсификации внешнего теплообмена не дали положительных результатов. Поэтому в качестве основного направления были приняты исследования тепловых режимов XIII с увеличенным числом агрегатов, работающих на один объем.

Для сопоставления опытных данных, полученных на макетах XIII определялись коэффициенты теплопроводимости XIII на стенде, показанном на рис. 1 в. При сопоставлении осуществлялась соответствующая коррекция опытных данных. Коэффициенты теплопроводимости определялись на макете XIII. Опыты проводились по известной методике.

Применение двоясных агрегатов в одном холодильном шкафу может вызвать значительные неравномерности температурного поля. Для уменьшения неравномерности целесообразно использовать теплопередающие панели. Для эффективного использования таких теплопередающих устройств необходимо иметь плоскостные конструкции испарителей АДХА.

Результаты опытов показали эффективность использования двух АДХА в XIII увеличенного объема. Достигнуто снижение рабочей температуры на 7-10 °С и улучшилось распределение температуры по высоте XIII на 3...4 °С.

Предварительные опыты с ХРП в виде оребренной панели показали хорошие результаты по выравниванию температурного поля.

Экспериментально, показано, что при использовании стандартного XIII типа "Кристалл-404-1" объемом 155 дм³ с двумя АДХА и системой тепловых труб, в обычных условиях эксплуатации (20 °С) такой аппарат может работать как морозильник, а при $t_{oc} = 42$ °С как холодильник, создавая во всем объеме равномерную температуру - 2...0 °С, рис. 2

При изменении температуры окружающей среды от 20 до 32 °С средняя температура во внутреннем объеме XIII увеличилась от -15 до -10 °С. То есть в этом диапазоне температур окружающей среды исследованная конструкция является хорошим холодильником и имеет определенный потенциал для превращения в морозильник. При моделировании тропических условий работы ($t_{oc} = 43$ °С) средняя температура в XIII составляла 0 °С, т.е. исследуемая конструкция выполняет стабильно функции холодильника для температурных условий стран с тропическим климатом.

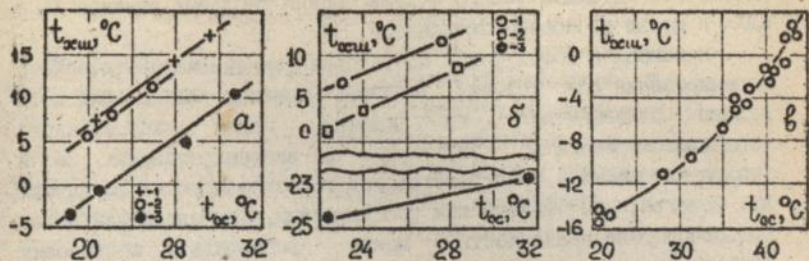


Рис.3. Экспериментальные данные по распределению температур во внутреннем объеме XIII с АДХА в средней зоне:
 а - XIII с одним АДХА; 1 - полезный объем XIII 280 дм³;
 2 - 196 дм³; 3 - 98 дм³. б - XIII с двумя АДХА, 1 - полезный объем XIII 390 дм³ без ХРП, 2 - 390 дм³ с ХРП в виде оребренной пластинки, 3 - 215 дм³ без ХРП; в - XIII типа "Кристалл-404-1" с ХРП в виде тепловых труб (см.рис.2) с полезным объемом 155 дм³

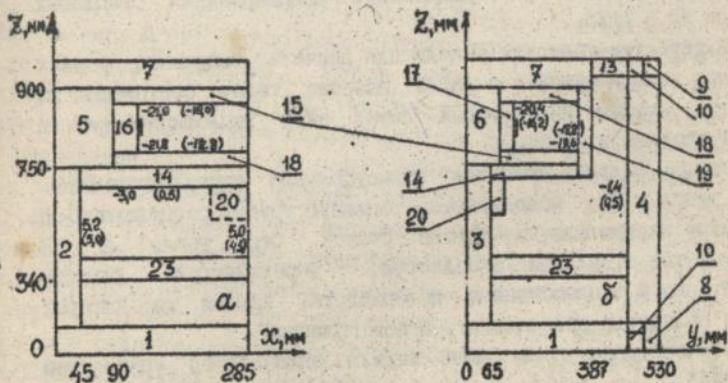


Рис.4. Тепловая модель XIII с морозильной камерой:
 а - сечение YOZ, X = 93 мм; б - сечение XOZ, Y = 359 мм;
 обозначение областей 1 - дно XIII; 2 - боковая стенка;
 3 - задняя стенка; 4 - дверь XIII; 5, 6, 7 - стенка морозильной камеры; 8, 9 - нижняя и верхняя части двери; 10 - резиновое уплотнение; 14 - перегородка; 15...18 - испаритель;
 19 - дверь испарителя; 23 - подвижная перегородка;
 цифры - расчетные значения температур; цифры в скобках - экспериментальные значения температур

В четвертой главе рассматриваются: постановка и результаты математического моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА с целью их совершенствования.

В наиболее общей форме постановки задач математического моделирования для условий тепловых режимов ХШ с АДХА и ТП должны основываться на решении задач сопряженного теплопереноса во внутренних и внешних объемах ХШ и теплопроводности в пространственных теплоизолирующих оболочках ХШ. Полагая, по физическим соображениям, определяющим вклад процессов теплопроводности, можно упростить постановку упомянутых задач, ограничившись решением соответствующих трехмерных задач теплопроводности.

Такой подход может быть дополнен приближенными методами математического моделирования в объектах и системах сложной пространственной формы с распределенными источниками и стоками тепла. Такие методы, использующие идеи электротепловой аналогии нашли широкое применение при анализе тепловых режимов РЭА. Важная задача наших исследований и состояла в определении возможностей и целесообразности применения вышеупомянутого подхода к проблеме математического моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА.

В качестве тепловой модели для расчета теплового режима бытового холодильника с АДХА выбрано тело, состоящее из областей, каждая из которых имеет свои теплофизические и геометрические параметры.

Каждая область является прямоугольным параллелепипедом. Стоки тепла в МК, моделирующие тепловую трубу, расположены по периметру испарителя в объеме стенок. Сток тепла в ХК моделируется отдельной областью. Определяются участки конвективного теплообмена с поверхности, каждый из которых должен полностью принадлежать одной области.

Температурное поле такой модели описывается уравнением Пуассона:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = + \frac{1}{\lambda} q(x, y, z).$$

Граничные условия формируются как условия первого рода на внешней поверхности изделия:

$$T = q(x, y, z).$$

Для внутренних поверхностей принимаются граничные условия третьего рода:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial N} + \alpha [T - T_{\text{ср}}] = q.$$

Решение уравнения Пуассона проводится методом конечных элементов. Принятая методика позволяет рассчитать температурные поля в установленных областях конструкции бытового холодильника. При этом средние температуры во внутренних отсеках считаются заданными. В действительности же эти температуры неизвестны и их определение составляет основную часть расчета.

Поэтому при выполнении расчетов температурных полей при принятых температурах в камерах следует проверить согласование теплопотоков к элементам испарителя в холодильной камере с истинной холодопроизводительностью холодильного агрегата. Если характеристика холодильного агрегата задана в виде системы уравнений для двух основных зон (морозильной и холодильной) в форме:

$$t_{\text{ос}} - t_{\text{м}} = Q_{\text{м}} - B_{\text{м}} Q_{\text{м}},$$

$$t_{\text{ос}} - t_{\text{х}} = Q_{\text{х}} - B_{\text{х}} Q_{\text{х}}.$$

(индексы "м" и "х" относятся соответственно к морозильной и холодильной камерам), тогда суммы теплопотоков для каждой камеры $\sum Q_{\text{им}}$ и $\sum Q_{\text{их}}$ должны быть согласованы с соответствующими холодопроизводительностями $Q_{\text{м}}$ и $Q_{\text{х}}$, связанными со значениями $t_{\text{м}}$ и $t_{\text{х}}$ по вышеуказанным уравнениям.

Типичная расчетная картина температурного поля дана на рис. 4 а, б. Видно, что полученные результаты позволяют определить места наиболее существенных теплопотерь, а также качественно и количественно оценить локальные величины теплопотоков, места, где эти величины особенно значительны. Результаты экспериментального определения температур в отдельных элементах ХХ согласуются с расчетом (рис. 4 а, б).

Данные о температурных полях позволяют не только сделать количественные оценки локальных теплопотоков в местах их наибольшей концентрации, но и определить мероприятия по их кардинальному уменьшению.

Вместе с тем, этот путь вполне оправданный как путь совершенствования определенной конструкции ХХ в сочетании с АДХА, представляется слишком громоздким, требующим больших затрат времени и сил на стадии поиска новых вариантов конструкции. Поэтому актуальными и перспективными представляются

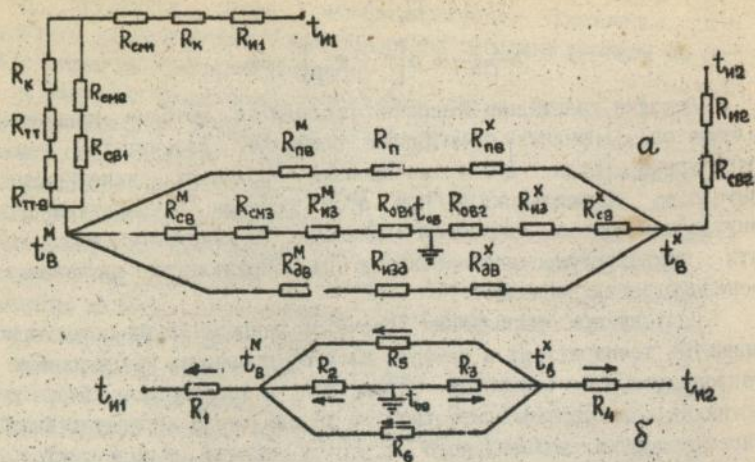


Рис.5. Развернутая (а) и эквивалентная (б) схемы термических сопротивлений

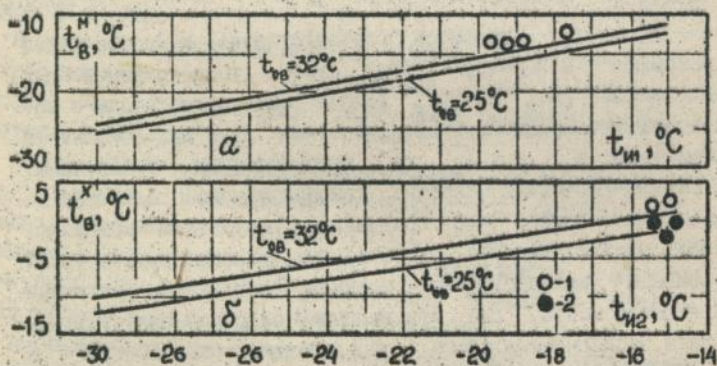


Рис.6. Зависимости температур воздуха в морозильной (а) и холодильной (б) камерах от средней температуры испарителя и температуры окружающей среды:
 линии - результаты расчета; 1,2 - экспериментальные значения температур, 1 - температура окружающей среды 32°C, 2 - 25°C

ся разработки и исследования приближенных математических моделей тепловых режимов с АДХА.

В качестве первого шага при разработке приближенных математических моделей тепловых режимов ХШ с АДХА можно ориентироваться на тот подход, который использован специалистами, занимающимися проблемами тепловых режимов электронной и электротехнической аппаратуры.

Нетрудно представить, что указанный подход к проблеме математического моделирования ХШ с АДХА или ХШ с ТП и АДХА может оказаться полезным, в особенности при рассмотрении вариантов с несколькими АДХА для одного ХШ, с различными ТП, в многомерных ХШ и т.д.

Используем вышеуказанный подход для составления приближенной математической модели теплового режима ХШ с АДХА, схема которого дана на рис. 4. Развернутая схема термических сопротивлений (ТС), соответствующая данной тепловой модели, представлена на рис. 5 а. Геометрические размеры холодильника и теплофизические свойства материалов приняты те же, что и в модели, рассмотренной выше.

Полная схема ТС может быть приведена к эквивалентной схеме, представленной на рис. 5 б. Стрелками обозначено направление тепловых потоков.

Результаты расчетного анализа в виде графиков приведены на рис. 6. Наблюдается определенное согласование расчетных данных с результатами экспериментов. Некоторые количественные отличия обусловлены как допущения расчетных моделей, так и невозможностью на данном этапе объективно учесть все теплофизические и конструктивно-технологические параметры данного холодильника.

Общие выводы

1. Практика разработки и конструирования холодильников с АДХА основывается преимущественно на инженерном опыте и интуиции. Не разработаны эффективные методы экспериментального и математического моделирования тепловых режимов холодильных шкафов с АДХА.

2. Результаты экспериментальных и теоретических исследований указывают на эффективность применения при конструировании ХШ с АДХА теплопередающих панелей на основе тепловых труб или испарительных термосифонов.
3. Рациональное использование холода в объеме ХШ возможно путем разделения процессов генерации и распределения холода во внутреннем объеме холодильника с помощью применения хладорассеивающих панелей в качестве тепловых связей между ХШ и АДХА.
4. Разработанные в настоящей работе средства и методики экспериментального и математического моделирования тепловых режимов ХШ с АДХА позволяют надежно определять пути совершенствования конструкций таких холодильников.
5. Перспективным направлением расширения номенклатуры ХШ с АДХА является конструирование холодильников с применением ХРП с двумя, тремя агрегатами. При этом простейшими конструктивно-технологическими приемами можно обеспечить на основных серийных холодильниках "Кристалл" их надежную работу в тропических условиях; реализацию морозильников объемом 150 л; создание бытовых холодильников с АДХА объемом до 400 л и более.
6. В последующих разработках новых типов ХШ с АДХА, включая конструкции вертикального и горизонтального исполнения, целесообразно использовать численные расчеты температурных полей на основе приложенной к работе математической модели, а в исследованиях принципиально новых конструкций ХШ с АДХА (например, с применением ХРП) ориентироваться на сочетание экспериментальных методов исследований и предлагаемых приближенных методов, основанных на идеях электротепловой аналогии.

Обозначення

- Q - холодопродуктивність, Вт;
 λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);
 α - коефіцієнт теплоотдачі, Вт/(м²·К);
 t_{n1}, t_{n2} - середня по довжині випарника температура кипіння хладагента для МК і ХК, відповідно; відповідно;
 $t_{\text{ар}}$ - температура оточуючого повітря;
 $t_{\text{в}}$ - температура повітря в МК;
 $t_{\text{в}}$ - температура повітря в ХК;
 R_{ij} - відповідні теплові опору;
 x, y, z - координати;
 A, B, C - зони установки термометрів.

Індекс

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| ХРП - хладоресиваційна панель; | ос - оточуюче середовище; |
| ХШ - холодильний шафа; | см - середовище морозильника; |
| М - морозильник; | св - середовище повітря; |
| Х - холодильник; | 1-6 - номери; |
| И - випарник; | из - ізоляція; |
| К - контакт; | дв - двері; |
| ТТ - теплова труба; | в - повітря; |
| П - панель. | |

АНОТАЦІЯ

Аль Насулсі Башар Самір

"Методи та моделі раціонального конструювання побутових холодильників із абсорбційно-дифузійними холодильними агрегатами (АДХА) із застосуванням теплопередаючих панелей". Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук за фахом "Теоретична теплотехніка" 05.14.05. Одеська Державна Академія Холоду, Одеса, 1995.

В дисертації висладені та обґрунтовуються:

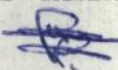
- методи експериментального моделювання теплових режимів холодильних шаф з АДХА, декількома АДХА та теплопередаючими панелями;
- методи математичного моделювання теплових режимів холодильних шаф на підставі рішення трьохвісних рівнянь теплопровідності, а також на підставі наблизених моделей, що зводяться до електротеплової аналогії;
- результати експериментальних та розрахункових досліджень теплових режимів холодильних шаф із АДХА та теплопередаючими панелями.

Захищається наукове положення, що відноситься до перспективності конструювання з моделей шаф із АДХА з використанням теплопередаючих панелей.

"The domestic refrigerators with absorption-diffusion ADRA with heat transfer panels rational construction methods and models". The scientific degree candidate of technical sciences dissertation. The speciality "The theoretical thermotechnick" 05.14.05. Odessa State Refrigeration Academy, Adessa, 1995.

The refrigerators with absorption-diffusion refrigerating machines ADRA and heat-transfer panels thermal regimes experimental modeling methods are presented and based in dissertation including refrigerators with some ADRA and heat transfer panels. The refrigerator thermal regimes mathematical modeling methods are given on the three-dimensional heat conductivity equation numerical solutions base and besides it on the approximate models using electric-heat analogy.

The refrigerator with ADRA and heat transfer panels experimental and theoretical researches results are given in dissertation too. The scientific confirmation concerning using heat transfer panels for refrigerators with ADRA is defeated in this work.



Подписано к печати 03.11.95. Формат 60x84/16. Бумага газетная.
Печать офсетная. 0,93 усл.печ.л. 1,0 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 218

Одесский государственный политехнический университет.
270044, Одесса, пр.Шевченко, 1.