

На правах рукописи

Фтор

ГОРОБЧУК Дмитрий Михайлович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА
КОНДЕНСАТОРА БЫТОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОКОНВЕКЦИИ**

Специальность 05.04.03

«Машины и аппараты, процессы холодильной
и криогенной техники, систем кондиционирования
и жизнеобеспечения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2004

Работа выполнена на кафедре «Холодильная техника» Московского государственного университета прикладной биотехнологии.

Научный руководитель: - доктор технических наук,
профессор
Бабакин Б.С.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор
Космодемьянский Ю.В.

- кандидат технических наук,
доцент
Русанов В.В.


Ведущая организация: **ОАО «ВНИИХОЛОДМАШ-
ХОЛДИНГ»**

Защита состоится «23» декабря 2004 года в 14 часов на заседании диссертационного совета К 212.149.02 при Московском государственном университете прикладной биотехнологии по адресу: 109316, Москва, Талалихина ул., 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПБ.

Автореферат разослан «19» ноября 2004 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Никифоров Л.Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

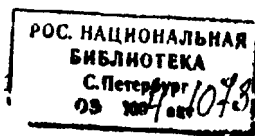
Актуальность проблемы. Высокая стоимость энергетических ресурсов в настоящее время является основным фактором, который приходится учитывать при оценке эффективности машин и аппаратов холодильной техники и технологии. Сокращение энергопотребления является одной из основных задач развития современной холодильной техники. В связи с этим, развитие холодильной техники направлено на разработку и внедрение способов повышения интенсивности процессов, протекающих в теплообменных аппаратах.

Одним из основных факторов, определяющих энергозатраты при эксплуатации малых холодильных машин (производство бытовых холодильников в РФ по данным Госкомстата за 2001 год составило 1,7 млн. единиц), является процесс теплообмена между поверхностью аппарата и окружающей средой, где сосредоточено наибольшее термическое сопротивление (до 80%). При этом режим работы холодильной машины также во многом определяется интенсивностью теплообмена, протекающего в воздушном конденсаторе холодильной машины, следовательно, повышение эффективности наружного теплообмена в воздушном конденсаторе является в настоящий момент актуальной задачей.

Анализ существующих способов повышения эффективности теплообменных процессов в воздушных конденсаторах позволяет сделать вывод о необходимости поиска принципиально новых способов интенсификации наружного теплообмена.

Одним из путей, позволяющих повысить эффективность теплообменных аппаратов с воздушным охлаждением, является использование электроконвекции.

Цель работы. Совершенствование процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника за счет применения электроконвекции.



Основные задачи работы.

1. Разработать ЭГД-устройство и создать экспериментальный стенд для исследования геометрических и режимных параметров ЭГД-устройств.
2. Провести экспериментальные исследования и определить рациональные геометрические и режимные параметры ЭГД-устройства.
3. Создать экспериментальный стенд для исследования процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции.
4. Провести комплексное экспериментальное исследование процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника при использовании электроконвекции и получить зависимости изменения теплофизических параметров воздушного конденсатора.
5. Произвести энергетическую оценку эффективности использования электроконвекции для охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника.
6. Разработать принцип конструктивного оформления воздушного конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработано ЭГД-устройство и получены его рациональные геометрические и режимные параметры, необходимые для исследования процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника.

В результате экспериментальных исследований получены зависимости изменения скорости воздушного потока при различных геометрических и режимных параметрах ЭГД-устройств, а также поле распределения скоростей воздушного потока, создаваемого единичным игольчатым элементом генерирующего электрода ЭГД-устройства.

Разработан способ охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции.

На базе выполненных экспериментальных исследований процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника установлены закономерности изменения основных теплофизических параметров воздушного конденсатора бытового холодильника при различных способах охлаждения теплообменной поверхности.

Установлены закономерности изменения продолжительности цикла работы, коэффициента рабочего времени и энергопотребления малой холодильной машины при различных температурах окружающей среды для различных способов охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника.

Практическая ценность.

Модернизирована компьютеризированная система мониторинга РМУ-1.3 с одновременной регистрацией различных параметров - температуры, относительной влажности, плотности теплового потока и коэффициента рабочего времени установки.

Результаты работы внедрены в лабораторный практикум по курсу «Электрофизические методы в холодильной технике и технологии», а также используются в научно-исследовательской работе кафедры «Холодильная техника» МГУПБ.

По результатам работы был выигран конкурс в ОАО «Московский комитет по науке и технологиям»: «Разработка экологически безопасного и энергосберегающего способа охлаждения конденсаторов малых холодильных установок» - проект **1.1.65** (2004 г.).

Работа выполнялась в рамках госбюджетной темы кафедры «Холодильная техника» № **4-1-04в** «Разработка экологически безопасного и малоэнергоемкого способа интенсификации наружного теплообмена конденсатора бытового холодильного прибора и исследование процесса теплообмена».

Результаты экспериментальных исследований позволили получить критериальные уравнения теплообмена при различных способах охлаждения

теплообменной поверхности для различных температур окружающей среды, необходимые для расчетов воздушных конденсаторов бытовых холодильников.

По результатам проведенных исследований подана заявка в ФИПС «Конденсатор воздушного охлаждения» (№ 2004130386 от 19.10.2004 г.).

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием стандартных и общепринятых методов анализа. Полученные результаты подвергнуты обсуждению и теоретическому анализу в сравнении с известными литературными данными. Математическая обработка полученных экспериментальных данных и представление информации в графическом виде выполнялись при помощи персонального компьютера HP OmniBook XE₃ Intel® Pentium® Mobile (933 МГц) с объемом оперативной памяти 256 МБ и программ для инженерных и научных расчетов: Mathcad2001; CurveExpert 1.37; Microsoft® Excel® и др. Надёжность полученных математических зависимостей оценивалась среднеквадратичным отклонением - σ и коэффициентом корреляции - r . При обработке экспериментальных данных использовали логарифмические одно- и многофакторные, а также линейные и нелинейные параболические корреляционные модели.

На защиту выносятся:

- результаты комплексных исследований рациональных геометрических и режимных параметров ЭГД-устройств;
- результаты комплексных исследований процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции;
- результаты энергетической оценки эффективности использования электроконвекции для охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника;
- конструктивное оформление конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были доложены на V Международной научно-технической конференции «Пища. Экология. Человек» (Москва, 2003 г.); на конференции, посвященной 30-летию кафедры «Холодильная техника» МГУПБ «Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии» (Москва, 2003 г.); на конференции, посвященной 300-летию Санкт-Петербурга «Проблемы пищевой инженерии и ресурсосбережения в современных условиях» (Санкт-Петербург, 2004 г.); на научных чтениях, посвященных 100-летию со дня рождения проф. Лепилкина А.Н. «Повышение энергоэффективности техники и технологий в перерабатывающих отраслях АПК» (Москва, 2004 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав и приложений. Диссертационная работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунков и 15 таблиц. Список литературных источников включает 134 наименования работ отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой научно-технической задачи и определены основные направления ее решения.

В первой главе выполнен обзор существующих литературных источников и рассматриваются вопросы, связанные с процессом теплообмена, протекающего в воздушных конденсаторах малых холодильных машин, а также основные методы его интенсификации. В ходе анализа литературных источников установлено, что известные в настоящее время методы интенсификации теплообмена недостаточно глубоко изучены, либо сложны для практической реализации. Следовательно, необходимо искать принципиально новые методы воздействия на процесс теплообмена.

Одним из перспективных способов повышения эффективности теплообменных процессов является применение электроконвекции.

Приведенный анализ литературных источников позволил сформулировать цель работы и задачи настоящего исследования.

Во второй главе изложены методики и техника экспериментальных исследований геометрических и режимных параметров ЭГД-устройств и процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника.

Для изучения и определения рациональных геометрических и режимных параметров ЭГД-устройства, предназначенного для интенсификации процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника, разработан экспериментальный стенд (рис. 1).

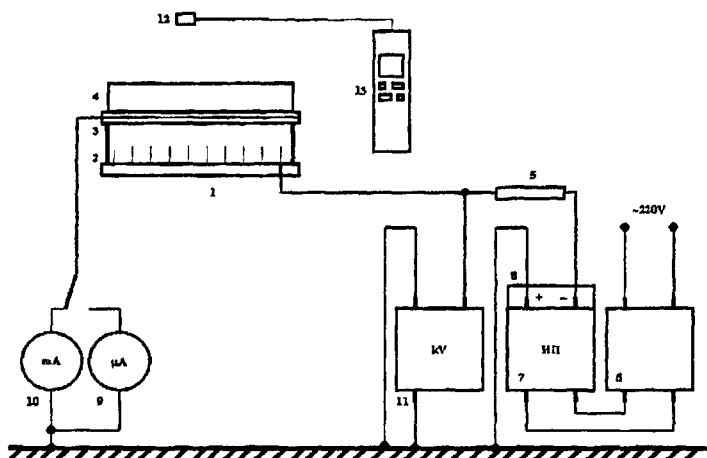


Рис. 1. Экспериментальный стенд для изучения геометрических и режимных параметров ЭГД-устройств:

1 - ЭГД-устройство; 2 - генерирующий электрод; 3 - заземленный электрод; 4- направляющая воздушного потока; 5-защитное сопротивление; 6-регулятор напряжения 0...220В; 7 - высоковольтный источник питания; 8-защитный кожух; 9 - микроамперметр М93; 10-миллиамперметр М1692; 11 - киловольтметр С196; 12 - чувствительный элемент термоанемометра; 13 - термоанемометр TESTO 425.

Разработанное и сконструированное ЭГД-устройство предусматривает возможность изменения основных геометрических параметров: расстояние между игольчатыми элементами генерирующего электрода, расстояние

между генерирующим и заземленным электродом (0,01...0,08 м), размеры ячеек сетчатого электрода, количество игольчатых элементов.

Для определения электрических параметров ЭГД-устройства было использовано следующее измерительное оборудование: для измерения разности потенциалов между электродами использовался киловольтметр типа С196 (класс точности 1,0), для измерения силы тока в межэлектродном пространстве микроамперметр типа М93 (класс точности 1) и миллиамперметр типа М1692 (класс точности 0,5).

Для изучения скоростей воздушного потока, генерируемого ЭГД-устройством при различных геометрических и режимных параметрах, на лабораторном стенде размещался термоанемометр типа "Testo425", оснащенный щупом для проведения измерений в труднодоступных местах.

Для изучения теплообмена конденсатора бытового холодильника при использовании электроконвекции был разработан и смонтирован стенд (рис. 2).

Экспериментальный стенд для исследования теплообмена разработан на базе бытового холодильника LiebherrKTS 1434-25 001. Конденсатор воздушного охлаждения с целью повышения эффективности теплообмена был оснащен ЭГД-устройством с рациональными геометрическими и режимными параметрами, определенными экспериментально, создающим вдоль теплообменной поверхности конденсатора равномерный воздушный поток с начальной скоростью 1,5 м/с.

Контроль параметров процесса теплообмена и регистрация экспериментальных данных осуществлялись с помощью модернизированной компьютеризированной системы мониторинга РМУ-1.3, разработанной к.т.н. Козыренко В.Т. и адаптированной к задачам настоящего исследования.

Компьютеризированная система мониторинга РМУ-1.3 позволяет одновременно регистрировать следующие теплофизические параметры: температуру теплообменной поверхности конденсатора, температуру окружающей среды, плотность теплового потока, относительную влажность

воздуха, а также регистрировать время включения и выключения компрессора холодильной машины. Опрос всех датчиков осуществлялся каждые 10 секунд.

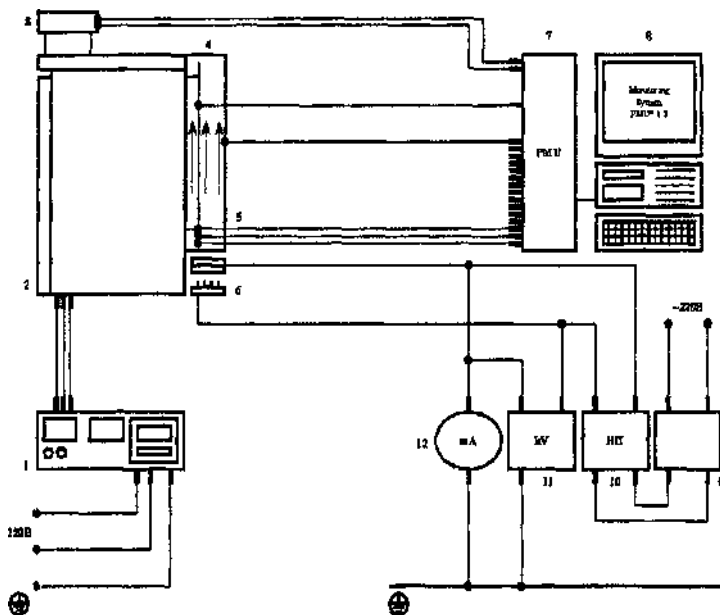


Рис. 2. Экспериментальный стенд для исследования процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника:

1 - блок измерения энергетических параметров; 2 - бытовой холодильник; 3 - система управления температурой; 4 - конденсатор бытового холодильника; 5 - кожух; 6 - ЭГД-устройство; 7 - измерительный блок системы РМУ-1.3; 8 - монитор; 9 - регулятор напряжения 0...220В; 10 - высоковольтный источник питания; 11 - киловольтметр С196; 12 - миллиамперметр М1692.

Исследование процесса теплообмена осуществлялось в диапазоне температур эксплуатации бытового холодильника (+18°C, +23°C, +28°C) и при различных способах охлаждения конденсатора (естественная конвекция и электроконвекция). Минимальная повторяемость каждого эксперимента - пятикратная.

В третьей главе содержатся результаты экспериментальных исследований изучаемых процессов.

Исследование вольтамперных характеристик ЭГД-устройства. В результате анализа экспериментальных данных получены математические зависимости силы тока в межэлектродном пространстве от величины подаваемого напряжения:

$$I = a \cdot e^{bU}$$

Межэлектродное расстояние, м	Диапазон напряжений, кВ	Коэффициенты уравнения	
		а, $\cdot 10^{-6}$, А	б, $\cdot 10^{-3}$, В
0,01	4...10	0,469	0,542
0,015	5...15	0,789	0,347
0,02	7...20	2,056	0,216
0,025	8...24	2,208	0,176

Коэффициент корреляции r уравнений составляет 0,995...0,998.

Исследование скорости воздушного потока, создаваемого единичным игольчатым элементом. Экспериментальное исследование скорости воздушного потока показывает, что с увеличением подаваемого напряжения скорость воздушного потока возрастает (рис. 3). Максимальное значение скорости воздушного потока достигается при максимальном рабочем напряжении для соответствующего межэлектродного расстояния ЭГД-устройства и составляет: для межэлектродного расстояния 0,01 м - 2,30 м/с; для межэлектродного расстояния 0,015 м - 2,85 м/с, для межэлектродного расстояния 0,02 м - 3,30 м/с, для межэлектродного расстояния 0,025 м - 3,36 м/с.

В результате анализа экспериментальных данных скорости воздушного потока были получены математические зависимости (коэффициент корреляции r составляет 0,995...0,999):

$$v = a \cdot e^{\frac{-b}{U}}$$

Межэлектродное расстояние, м	Диапазон напряжений, кВ	Коэффициенты уравнения	
		а, м/с	б, В
0,01	4...10	18,595	20979,55
0,015	5...15	8,116	15560,28
0,02	7...20	7,083	15225,62
0,025	8...24	6,308	15338,96

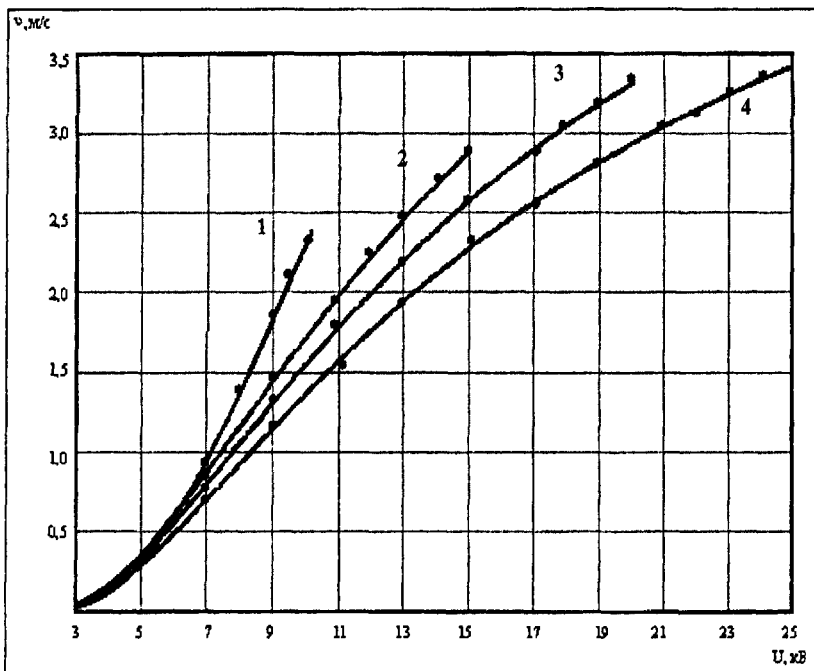


Рис. 3. Скорость воздушного потока при различных геометрических и режимных параметрах ЭГД-устройства:
 1 – $h = 0,01$ м; 2 – $h = 0,015$ м; 3 – $h = 0,02$ м; 4 – $h = 0,025$ м.

Увеличение скорости воздушного потока сопровождается увеличением мощности, затрачиваемой ЭГД-устройством.

Максимальные значения скорости воздушного потока достигаются при межэлектродном расстоянии, равном $0,02...0,025$ м (рис. 4).

Исследование поля скоростей, создаваемого единичным игольчатым элементом генерирующего электрода. С целью определения рационального расстояния между игольчатыми элементами генерирующего электрода ЭГД-устройства проведено исследование поля распределения скоростей воздушного потока, создаваемого единичным игольчатым элементом (рис. 5).

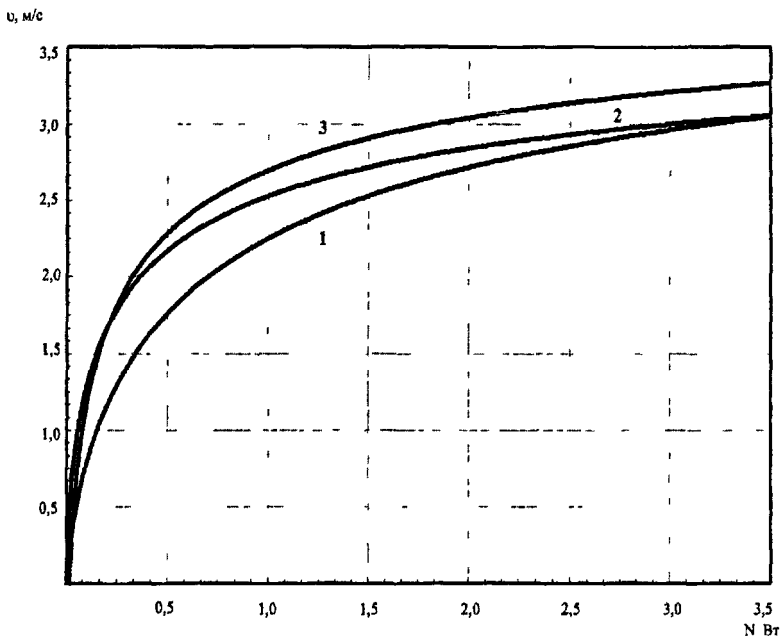


Рис 4. Скорость воздушного потока в зависимости от затрачиваемой мощности:
 1 – $h = 0,01$ м, 2 – $h = 0,015$ м; 3 – $h = 0,02 \dots 0,025$ м

Результаты исследований показали, что скорость воздушного потока имеет максимальное значение в точках, имеющих свое положение на геометрической оси игольчатого элемента. При удалении на расстояние $0,01 \dots 0,015$ м от оси игольчатого элемента скорость воздушного потока снижается на $20 \dots 25\%$. Для получения равномерного воздушного потока с постоянной скоростью расстояние между игольчатыми элементами следует принять равным $0,03$ м.

Исследование изменения скорости воздушного потока при удалении от заземленного электрода позволяют установить рациональное расстояние от ЭГД-устройства до объекта интенсификации теплообмена. Так при удалении от заземленного электрода на расстояние $0,25$ м было отмечено снижение скорости воздушного потока на 50% .

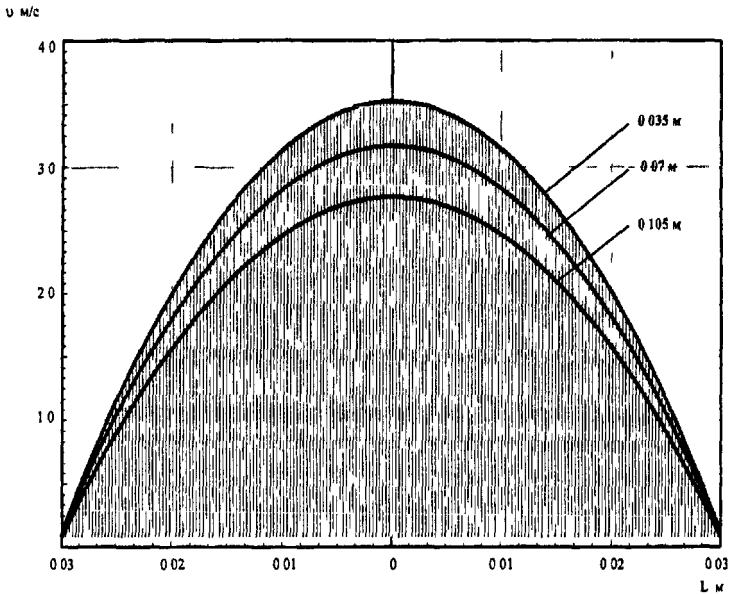


Рис 5 График распределения скоростей воздушного потока в зависимости от расстояния (0 035,0 07 и 0 105 м -расстояние от заземленного электрода)

На основании полученных экспериментальных данных разработано и изготовлено ЭГД-устройство с рациональными геометрическими и режимными параметрами. Результаты исследования приведены ниже.

Исследование температуры теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника. Процесс теплообмена конденсатора бытового холодильника является нестационарным процессом и сопровождается изменением температуры теплообменной поверхности (рис 6).

Установлено, что с увеличением температуры окружающей среды возрастает и температура теплообменной поверхности конденсатора. Так при температурах окружающей среды $+18^{\circ}\text{C}$, $+23^{\circ}\text{C}$ и $+28^{\circ}\text{C}$ температура теплообменной поверхности конденсатора после выхода на режим составила $40,8^{\circ}\text{C}$, $44,2^{\circ}\text{C}$ и $47,3^{\circ}\text{C}$ соответственно.

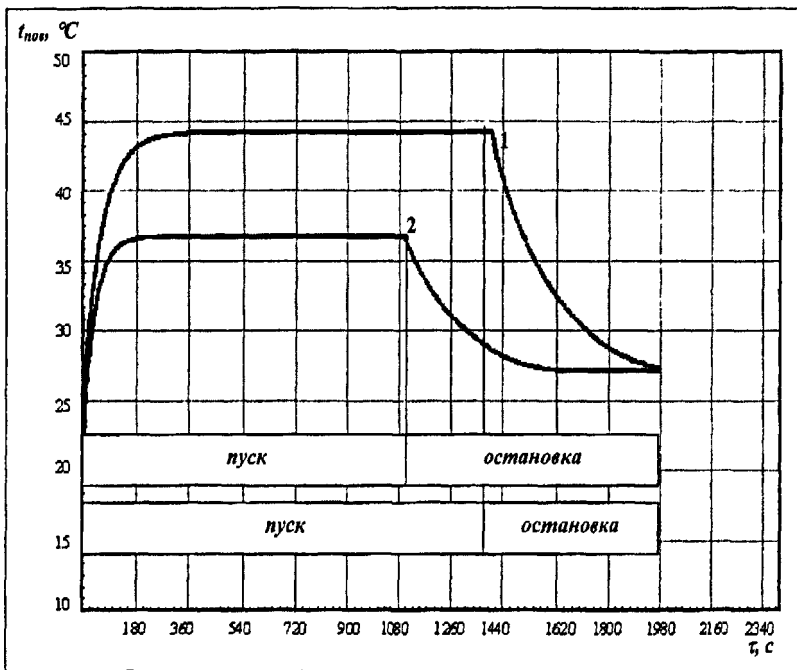


Рис. 6. Изменение температуры теплообменной поверхности конденсатора при различных способах охлаждения (температура окружающей среды +23°C):
 1 - естественная конвекция; 2 - электроконвекция.

Использование электроконвекции позволяет снизить температуру теплообменной поверхности на 7,3...7,8°C.

В ходе анализа экспериментальных данных были получены следующие математические зависимости:

$$t_{нов} = a \cdot (b - e^{-c\tau}), \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Температура окружающей среды	Способ охлаждения конденсатора	Коэффициенты		
		a	b	c
+18°C	естественная конвекция	21,253	1,92	0,016
+23°C		19,855	2,228	0,016
+28°C		$t_{нов} = const = 47,3 \text{ [}^\circ\text{C]}$		
+18°C	электроконвекция	14,761	2,241	0,021
+23°C		15,723	2,335	0,026
+28°C		14,774	2,709	0,025

Исследование плотности теплового потока от теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника. Установлено, что плотность теплового потока на начальном этапе работы холодильной машины резко возрастает, достигает своего максимального значения, затем плавно убывает. Резкое увеличение плотности теплового потока до максимального значения обусловлено стремительным повышением температуры теплообменной поверхности после включения компрессора. Снижение плотности теплового потока после достижения максимального значения вызвано последующим повышением среднеобъемной температуры в щелевом канале, в котором расположен конденсатор бытового холодильника.

Температура окружающей среды	Способ охлаждения конденсатора	Время τ , с	Зависимость
+18°C	естественная конвекция	0...80	$q = \frac{201,47}{1 + 14,45 \cdot e^{-0,108 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
		80...760	$q = 114,793 \cdot e^{\frac{26,633}{\tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
+23°C		0...110	$q = \frac{165,23}{1 + 28,71 \cdot e^{-0,115 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
		110...1370	$q = 95,596 \cdot e^{\frac{63,481}{\tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
+28°C		0...2400	$q = const = 89,31 \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
+18°C		электроконвекция	0...80
	80...620		$q = 107,150 \cdot e^{\frac{52,781}{\tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
+23°C	0...110		$q = \frac{150,57}{1 + 24,782 \cdot e^{-0,122 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
	110...1100		$q = 83,732 \cdot e^{\frac{68,541}{\tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
+28°C	0...100		$q = \frac{131,63}{1 + 34,446 \cdot e^{-0,121 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$
	100...1930		$q = 71,301 \cdot e^{\frac{67,040}{\tau}} \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$

По результатам экспериментальных исследований получены следующие математические зависимости изменения плотности теплового потока во времени для различных температур окружающей среды и способов охлаждения конденсатора.

Исследование коэффициента теплоотдачи конденсатора бытового холодильника. На начальном этапе рабочей части холодильной машины (50...70 секунд после включения компрессора) коэффициент теплоотдачи возрастает, достигая максимального значения, затем постепенно снижается до момента отключения компрессора. В нерабочей части цикла холодильной машины коэффициент теплоотдачи меняется незначительно (0...3 Вт/(м²·К)). Значение максимума коэффициента теплоотдачи на начальном этапе работы холодильной машины с увеличением температуры окружающей среды уменьшается, что вызвано снижением температурного напора между теплообменной поверхностью и окружающей средой.

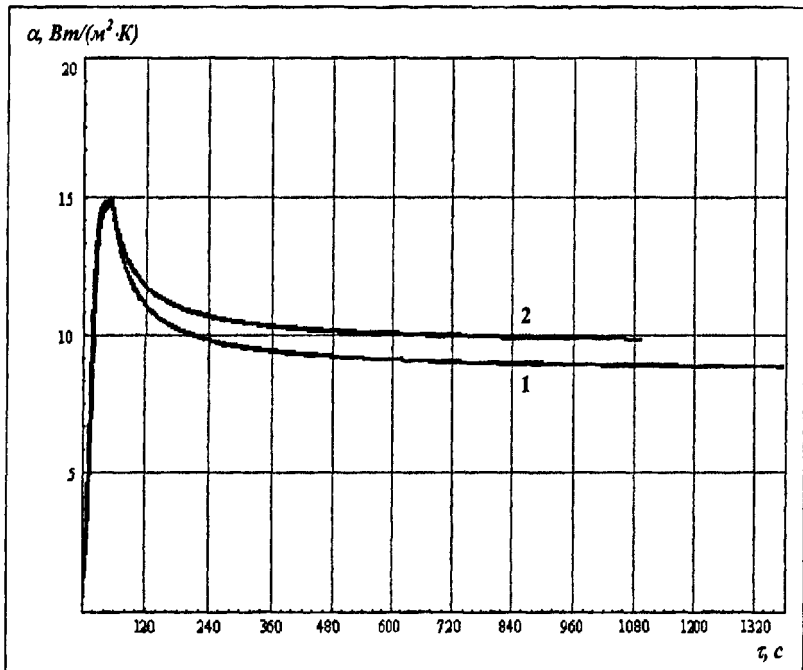


Рис. 7. Изменение коэффициента теплоотдачи при различных способах охлаждения: 1 - естественная конвекция; 2 - электроконвекция.

Получены математические зависимости изменения коэффициента теплоотдачи во времени при различных температурах окружающей среды и способах охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника:

Температура окружающей среды	Способ охлаждения конденсатора	Время τ , с	Зависимость
+18°C	естественная конвекция	0...50	$\alpha = \frac{16,65}{1 + 4,954 \cdot e^{-0,164 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
		50...760	$\alpha = 9,29 \cdot e^{30,95/\tau} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
+23°C		0...60	$\alpha = \frac{14,71}{1 + 25,531 \cdot e^{-0,185 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
		60...1370	$\alpha = 8,65 \cdot e^{30,074/\tau} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
+28°C		0...2400	$\alpha = const = 8,686 \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
+18°C		электроконвекция	0...50
	50...620		$\alpha = 10,045 \cdot e^{23,564/\tau} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
+23°C	0...60		$\alpha = \frac{14,84}{1 + 17,887 \cdot e^{-0,195 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
	60...1100		$\alpha = 9,62 \cdot e^{24,539/\tau} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
+28°C	0...70		$\alpha = \frac{13,72}{1 + 63,083 \cdot e^{-0,213 \tau}} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$
	70...1930		$\alpha = 8,41 \cdot e^{28,699/\tau} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$

Использование электроконвекции для охлаждения теплообменной поверхности конденсатора бытового холодильника позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи на 8...12% по сравнению с естественной конвекцией. Среднеинтегральные значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от температуры окружающей среды и способа охлаждения теплообменной поверхности приведены ниже.

Температура окружающей среды $t_{oc}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплоотдачи α , [Вт/(м ² ·К)]	
	Естественная конвекция	Электроконвекция
+18 ^o C	10,686	11,968
+23 ^o C	9,371	10,376
+28 ^o C	8,686	9,38

Исследование энергетических параметров работы холодильной машины. Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что продолжительность цикла работы холодильной машины в диапазоне температур эксплуатации в большей степени зависит от температуры окружающей среды и от температуры, поддерживаемой в охлаждаемом объеме. С увеличением температуры окружающей среды возрастает и продолжительность цикла работы холодильной машины. Зависимость продолжительности цикла работы холодильной машины от температуры окружающей среды имеет вид:

$$\tau_{\text{цикла}} = 1348,64 \cdot \ln t_{oc} - 2195,31$$

Продолжительность рабочей части цикла и соответственно коэффициент рабочего времени зависят не только от температуры окружающей среды и температуры в охлаждаемом объеме, но и в значительной степени от способа охлаждения конденсатора бытового холодильника. Установлены зависимости изменения коэффициента рабочего времени от температуры окружающей среды для различных способов охлаждения теплообменной поверхности конденсатора. Коэффициент рабочего времени при различных способах охлаждения конденсатора в зависимости от температуры окружающей среды может быть определен по следующим формулам:

$$b = 0,0009 \cdot t_{oc}^2 + 0,0131 \cdot t_{oc} - 0,0876 \text{ - естественная конвекция;}$$

$$b = 0,0005 \cdot t_{oc}^2 + 0,0164 \cdot t_{oc} - 0,0944 \text{ - электроконвекция.}$$

Использование электроконвекции в качестве интенсифицирующего воздействия на теплообмен конденсатора бытового холодильника позволяет

снизить коэффициент рабочего времени холодильной машины в диапазоне температур окружающей среды $+18^{\circ}\text{C} \dots +28^{\circ}\text{C}$ на 13,3...20% соответственно.

Энергопотребление бытового холодильника как установки периодического действия зависит только от коэффициента рабочего времени, который в свою очередь является функцией температуры окружающей среды и температуры в охлаждаемом объеме.

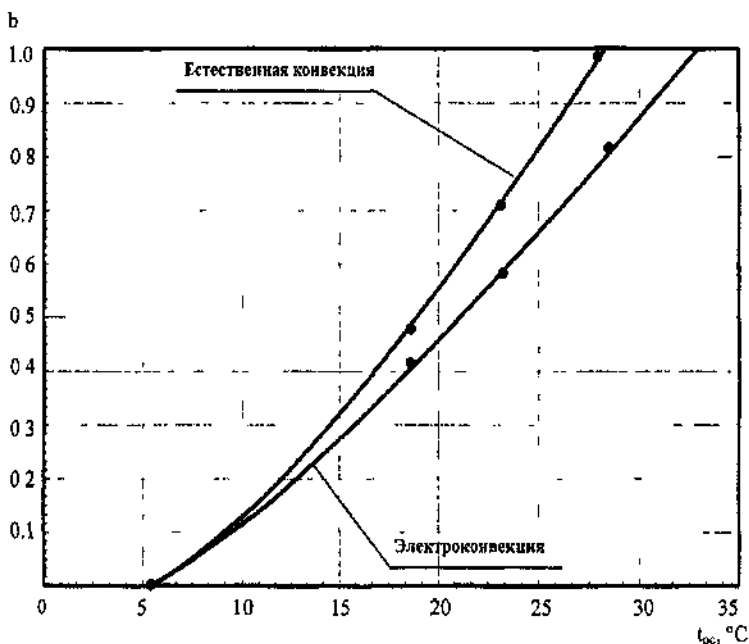


Рис 8. Зависимость коэффициента рабочего времени холодильной машины от температуры окружающей среды.

В результате исследования энергетических показателей работы малой холодильной машины установлено, что использование ЭГД-устройства в качестве побудителя расхода воздуха для охлаждения теплообменной поверхности конденсатора позволяет снизить энергопотребление холодильной машины на 7,6...12,5% с учетом энергозатрат на создание интенсифицирующего воздействия. С увеличением температуры окружающей среды возрастает и эффективность ЭГД-устройства (рис 10).

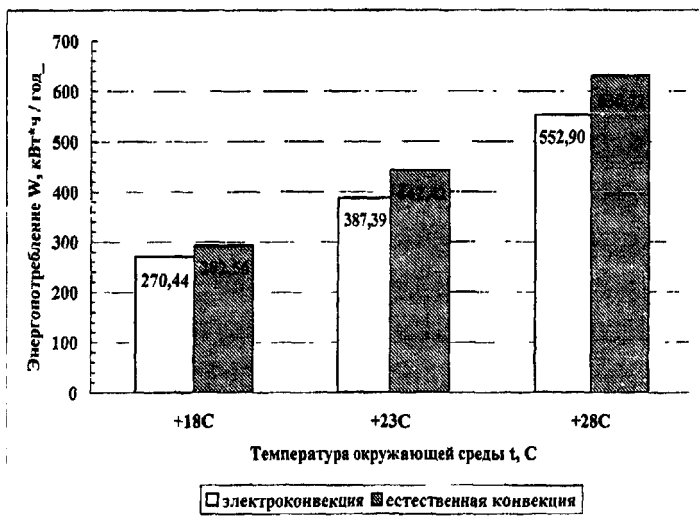


Рис. 9. Годовое потребление электроэнергии бытового холодильника при различных температурах окружающей среды и способах охлаждения поверхности конденсатора.

Критериальные уравнения теплообмена конденсатора бытового холодильника. Результаты экспериментальных исследований позволили определить коэффициенты критериальных уравнений теплообмена конденсатора бытового холодильника в указанных условиях.

Критериальное уравнение теплообмена при естественном охлаждении конденсатора на интервале $88400 < Gr \cdot Pr < 126100$ имеет вид:

$$Nu = 0,095 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,651}$$

Критериальное уравнение теплообмена при охлаждении конденсатора с использованием электроконвекции на интервале $3870 < Re < 4170$ имеет вид:

$$Nu = 1,98 \cdot 10^{-12} \cdot Re^{3,61}$$

В четвертой главе приведены прикладные результаты исследования.

Разработанное ЭГД-устройство является независимым универсальным аппаратом, позволяющим в значительной степени интенсифицировать процесс теплообмена, протекающего в воздушных конденсаторах малых холодильных машин. Рассмотрены конструктивные особенности ЭГД-устройств, предложены рациональные конструктивные и режимные

параметры работы устройства, а также рациональное расположение ЭГД-устройств относительно теплообменных поверхностей различной конфигурации (рис. 10 и 11).

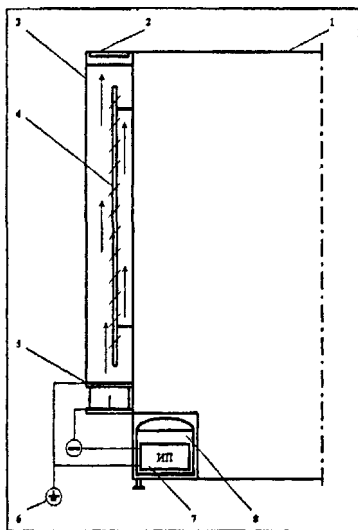


Рис. 10. Конструктивное оформление конденсатора бытового холодильного прибора, оснащенного ЭГД-устройством:

- 1 - корпус бытового холодильника; 2 - вытяжная решетка; 3 - кожух; 4 - теплообменная поверхность конденсатора; 5 - ЭГД-устройство; 6 - заземление; 7 - источник питания; 8 - компрессор.

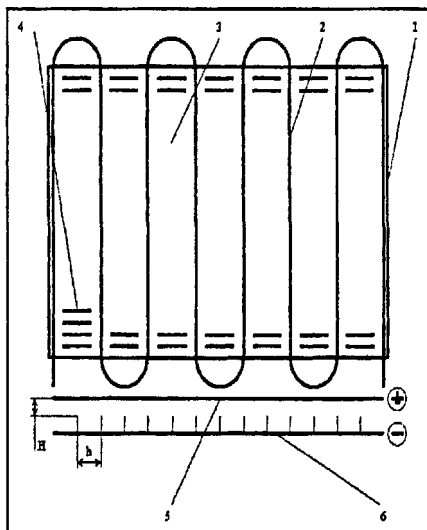


Рис. 11. Расположение игольчатых элементов ЭГД-устройства относительно теплообменной поверхности:

- 1 - конденсатор; 2 - змеевик; 3 - пластина; 4 - элементы интенсификации теплообмена; 5 - заземленный электрод; 6 - генерирующий электрод.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан экспериментальный стенд для исследования геометрических и режимных параметров ЭГД-устройств.
2. В результате проведенных экспериментальных исследований установлены рациональные геометрические и режимные параметры работы ЭГД-устройств, позволяющие получить высокие скорости воздушного потока (до 3,3 м/с).

3. На базе модернизированной компьютеризированной системы мониторинга РМУ-1.3 создан экспериментальный стенд для исследования процесса наружного теплообмена конденсатора бытового холодильника.
4. В результате комплексных исследований процесса теплообмена конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции получены закономерности изменения температуры теплообменной поверхности, плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи.
5. Использование электроконвекции позволило снизить температуру теплообменной поверхности конденсатора на 7,3...7,8°С, увеличить коэффициент теплоотдачи на 8... 12%, снизить коэффициент рабочего времени холодильной машины на 13...20%, а также уменьшить энергопотребление холодильной установки на 7,6... 12,5%.
6. Предложен принцип конструктивного оформления конденсатора бытового холодильника с использованием электроконвекции (заявка в ФИПС № 2004130386 от 19.10.2004 г.).

ОПУБЛИКОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

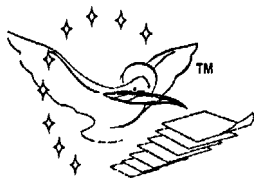
1. Заявка в ФИПС «Конденсатор воздушного охлаждения» (№ 20041303 86 от 19.10.2004 г.)
2. Бабакин Б.С., Смирнов В.В., Горобчук Д.М. Конструкции генерирующих электродов приставок для охлаждения конденсаторов бытовых холодильных приборов. / Международный сборник научных трудов «Проблемы пищевой инженерии и ресурсосбережения в современных условиях». - Санкт-Петербург, 2004. - С. 260-263.
3. Бабакин Б.С., Горобчук Д.М. Экспериментальный стенд для исследования влияния электроконвекции на процесс теплообмена конденсатора. / Материалы V Международной научно-технической конференции «Пища. Экология. Человек». - М.: МГУПБ, 2003. - С. 219.

4. Горобчук Д.М., Швыгин А.М. Эффективность применения электроконвекции для охлаждения конденсаторов малых холодильных установок. / Сборник научных трудов «Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии». Выпуск 2. - М: МГУПБ, 2003. - С. 100.
5. Бабакин Б.С., Горобчук Д.М., Швыгин А.М. "Применение ЭГД-устройств для интенсификации теплообмена конденсатора бытового холодильника. / Сборник научных трудов «Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии». Выпуск 2. - М.: МГУПБ, 2003. - С. 101.
6. Бабакин Б.С., Воробьев А.Н., Воронин М.И., Горобчук Д.М. Эффективность применения электроконвекции для интенсификации процесса теплообмена конденсатора бытового холодильного прибора. / Сборник научных трудов «Повышение энергоэффективности техники и технологий в перерабатывающих отраслях АПК. - М.: МГУПБ, 2004. - С. 23-25.
7. Бабакин Б.С., Воробьев А.Н., Горобчук Д.М. Исследование изменения коэффициента рабочего времени бытового холодильника с использованием электроконвекции. / Сборник научных трудов «Повышение энергоэффективности техники и технологий в перерабатывающих отраслях АПК. - М.: МГУПБ, 2004. - С. 25-26.
8. Бабакин Б.С., Горобчук Д.М. Исследование влияния электроконвекции на наружный теплообмен воздушного конденсатора. Методические указания к лабораторной работе. - М.: ГПП «Печатник», 2002. - 21 с.
9. Бабакин Б.С., Горобчук Д.М. Изучение влияния скорости воздушного потока на изменение коэффициента наружной теплоотдачи. Методические указания к лабораторной работе. - М.: ГТШ «Печатник», 2002. - 27 с.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

t_{oc} - температура окружающей среды, °С; $t_{нов}$ - температура теплообменной поверхности, °С; $U_{крит}$ - напряжение зажигания коронного разряда, В; U_{max} - напряжение пробоя газового промежутка, В; U - рабочее напряжение ЭГД-

устройства, B ; σ - среднеквадратическое отклонение; r - коэффициент корреляции; I - сила тока в межэлектродном пространстве, А; H - межэлектродное расстояние, м; h - расстояние между игольчатыми элементами, м; Nu - критерий Нуссельта, Gr - критерий Грасгофа, Pr - критерий Прандтля, Re - критерий Рейнольдса; $\tau_{цикл}$ - продолжительность цикла работы холодильной машины, с; $\tau_{раб}$ - продолжительность рабочей части холодильной машины, с; $\tau_{нераб}$ - продолжительность нерабочей части холодильной машины, с; $N_{ЭГД}$ - мощность ЭГД-устройства, Вт; b - коэффициент рабочего времени; α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); q - плотность теплового потока, Вт/м²; d - определяющий размер, м; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); β - коэффициент температурного расширения, 1/К; ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с; ρ - плотность среды, кг/м³; $W_{сут}$ - суточный расход электроэнергии, кВт·ч; $W_{год}$ - годовой расход электроэнергии, кВт·ч; v - скорость воздушного потока, м/с; S - площадь поперечного сечения, м²; L - расстояние, м.



Отпечатано в типографии ООО "Франтэра"
ПД № 1-0097 от 30.08.2001г.
Москва, Талалихина, 33

Подписано к печати 11.11.2004г.
Формат 60x84/16. Бумага "Офсетная №1" 80г/м².
Печать трафаретная. Усл.печл. 1.63. Тираж 110. Заказ 114.

WWW.FRANTERA.RU

026812