

Автореферат
С50

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

Смирнова Диана Генриховна

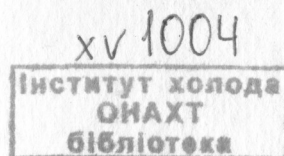
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ АККУМУЛЯТОРОВ ХОЛОДА С ЛЬДОГЕНЕРАТОРАМИ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Специальность 05.14.05 - Теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1995 г.



Работа выполнена в Одесской государственной академии холода.

- Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Онищенко В.П.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Калинин Л.Г.
- кандидат технических наук,
доцент Титарь С.С.
- Ведущая организация - НИО "Шторм", г.Одесса.

Защита диссертации состоится "27" 12 1993 г.
в 11⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета К.068.27.01 при
Одесской государственной академии холода по адресу:
270100, Украина, г.Одесса, ул.Петра Великого, 1/3 - ученый совет ОГАХ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОГАХ.

Автореферат разослан " " " 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
доктор технических наук,
профессор

Р.К.Никольшин

1995 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Экспрессная холодильная обработка пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции является обязательным элементом технологического цикла в мясомолочном и пивоваренном производстве, при изготовлении прохладительных напитков и в других направлениях пищевой технологии.

Периодический характер носит потребление холода в системах и устройствах кондиционирования жилых и производственных помещений в условиях, когда максимум потребления холода приходится на дневное время, а тарифы на электроэнергию минимальны в ночное время. Охлаждение как фактическая основа организации процессов периодической массовой кристаллизации является примером неравномерного потребления холода.

Для перечисленных и многих других задач весьма привлекательным становится применение охлаждающих систем с аккумуляторами холода. Аккумуляция холода позволяет существенно сократить капитальные затраты, снизить потребление электроэнергии, повысить надежность эксплуатации за счет равномерной загрузки оборудования в течение суток, открывает определенные перспективы для использования естественного холода и т.п.

В настоящее время определяющими являются системы с жидкостными аккумуляторами холода или с аккумуляторами холода вода-лед, в которых лед накапливается на внешних поверхностях источников искусственного холода без отделения. Такие аккумуляторы холода обладают большими объемами, существенной температурной неравномерностью, затрудняется достижение температур, близких к 0 °С, что особенно важно для многих процессов пищевой технологии. Поэтому перспективными в определенных условиях могут быть системы с водоледяными аккумуляторами холода, для которых "зарядка" аккумулятора осуществляется путем использования льдогенераторов непрерывного или периодического действия для образования в объеме аккумулятора водоледяной смеси ("шуги").

Отсутствие теоретических и экспериментальных исследований таких охлаждающих систем, неразработанность методов экспериментального и математического моделирования основных процессов и типичных режимов работы сдерживают их применение, что неблагоприятно сказывается на решении проблем энерго- и ресурсосбережения в соответствующих технических системах. Изложенным в значительной мере опреде-

ляется актуальность темы настоящей диссертационной работы.

Цель работы: создание основ экспериментального и математического моделирования аккумуляторов холода вода+лед с применением льдогенераторов периодического действия для охлаждающих систем на температурный уровень, близкий к 0°C .

Научную новизну работы составили следующие результаты и разработки:

- экспериментальный стенд и методики экспериментального моделирования режимов "зарядки" аккумуляторов вода+лед с обеспечением устойчивой термостабилизации поверхности генерации льда;

- результаты экспериментальных исследований оптимальных режимов "зарядки" аккумуляторов холода водоледяной смесью при различных температурных ограничениях и рабочих объемах аккумуляции холода;

- математические модели образования "шуги" с применением поверхностных льдогенераторов периодического действия и результаты численных исследований режимов "шугообразования" на их основе;

- методики расчета и выбора параметров охлаждающих систем с применением водоледяных аккумуляторов холода;

- схемные решения охлаждающих систем с аккумуляторами холода и льдогенераторами периодического действия, включая льдогенераторы на тепловых трубах (ТТ);

- методики оптимизации и результаты расчетов льдогенераторов на ТТ, включая данные сопоставительного их анализа с традиционными альтернативными конструкциями.

Результаты исследований позволили сформулировать следующее научное положение: применение тепловых труб или испарительных термосифонов (ИТС) специальной конструкции в льдогенераторах периодического действия эффективно в сопоставлении с традиционными конструкциями поверхностных льдогенераторов при достижении значений внутренних коэффициентов теплообмена более $10^3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и использовании сбросных низкопотенциальных источников теплоты в процессе "оттайки".

Обоснованность основных положений и рекомендаций обеспечена: использованием современных методов и средств экспериментальных исследований процессов и режимов аккумуляции холода, генерации льда и т.п.; всесторонним анализом литературных источников по изучаемой проблеме; сопоставлением экспериментальных данных с результатами теоретического анализа; соблюдением идентичности условий сравнения при сопоставлении традиционных и новых технических решений.

Практическая ценность работы состоит в:

- схемном решении охлаждающей системы с аккумулятором холода и льдогенератором периодического действия, "работающих на общий объем аккумуляции холода и обеспечивающих снижение объемов аккумуляторов в несколько раз при одновременном достижении температур охлажденной воды до значений, близких к 1°C ;

- схемном решении льдогенератора на основе ТТ, новизна которого защищена авторским свидетельством № 1754679 и которое позволяет использовать для обеспечения оттайки низкопотенциальное сбросное тепло;

- методиках экспериментального и математического моделирования режимов работы льдогенераторов-шугопреобразователей периодического действия;

- методиках расчета и выбора рациональных параметров охлаждающих систем на основе аккумуляторов холода с льдогенераторами периодического действия.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации представлены и обсуждались: на Международном конгрессе по химической технологии ХИТА (Прага, 1990г.), на Всесоюзных конференциях "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК, торговле и на транспорте" (Одесса, 1989г.) и "Холод - народному хозяйству" (Ленинград, 1991г.); отображены в четырех публикациях, в том числе одно авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена в основном тексте, состоящем из четырех глав на 118 с. машинописного текста, включая 25 рис., 1 табл., список использованных источников из 107 наименований. Результаты экспериментальных исследований, математического моделирования и численных решений задачи оптимизации даны в Приложении.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации, посвященной анализу литературных источников по проблемам моделирования рациональных схем и тепловых режимов технологических охлаждающих систем на основе аккумуляторов холода, рассматриваются: 1) исходные положения в проблемах аккумуляции теплоты (холода), 2) существующие схемные решения водных охлаждающих систем с аккумуляторами холода и проблемы их совершенствования, 3) задачи математического моделирования охлаждающих систем с холодильными машинами и аккумуляторами холода.

Показывается, что в связи с обострением проблем энергосбережения интерес к системам и устройствам аккумуляции различных видов энергии возрастает. Существуют и разрабатываются системы с аккумуляторами холода. Значительный вклад в решение различных задач, связанных с созданием, эксплуатацией и совершенствованием таких систем, внесен работами В.А.Соколова, В.А.Бобкова и др. Для перспективных вариантов аккумуляторов холода, использующих в качестве хладаккумуляирующей среды смесь воды со льдом, важное значение имеют процессы намораживания и оттайки, в изучение закономерностей которых весомый вклад внесен работами Р.Планка, М.Фольмера, В.В.Кафарова, М.Ф.Михалевича, А.Г.Ткачева, С.Г.Чукина, И.Н.Шаталовой и др. Для совершенствования охлаждающих систем с аккумуляторами холода может быть перспективным применение ТТ или ИТС, обобщенная информация о возможностях и характеристиках которых содержится в известных монографиях зарубежных и отечественных специалистов Дана и Рая; Л.Л.Васильева и С.С.Ваза, Б.А.Бучко, М.К.Безроцкого и др. Выполненный анализ привел к следующим выводам.

1. Аккумуляторы холода на основе смеси вода+лед имеют принципиальные преимущества по энергоемкости по сравнению с аккумуляторами "ледяной" воды в сочетании с серьезными недостатками, обусловленными проблемами организации устойчивого, интенсивного теплообмена в водоледяных системах. Перспективы применения водоледяных аккумуляторов в первую очередь будут зависеть от успеха в преодолении указанных недостатков.

2. Одно из перспективных направлений в совершенствовании аккумуляторов холода связано с их рациональным сочетанием с генераторами холода.

3. В разработке охлаждающих систем с аккумуляторами холода определяющими являются сложившийся инженерный опыт и интуиция. Крайне ограничены и не имеют развития исследования, посвященные экспериментальному и математическому моделированию процессов и характеристик этих систем.

Во второй главе определяются требования к экспериментальному стенду и его основным элементам. Принимая во внимание принципиальные трудности экспериментального моделирования режимов периодической поверхностной кристаллизации, связанные с существенными изменениями во времени основных факторов (тепловой поток, температура насыщения и т.п.), обосновывается выбор схемы экспериментального стенда с использованием специального трехпоточного теплообменника, совмещающего в одном корпусе поверхности теплообмена конденсатора

и регенеративного теплообменника пароконденсационной холодильной установки.

Схема экспериментального стенда и системы измерений даны на рис.1. Стенд состоит из следующих основных элементов: компрессора 1, трехпоточного теплообменника 2 со встроенными в него змеевиками водохлаждаемого конденсатора 3 и регенеративного теплообменника 4, теплового расходомера 5, рабочего участка (испарителя) 6 в форме трубки фибры, сосуда 7 для шугообразования и наблюдения за процессами кристаллизации и таяния, регулирующих вентилей 8-11, ротаметра 12 для измерения расхода воды, охлаждающей конденсатор; системы измерений температуры, включающей термометры 1т-9т, устройства холодного спая с контролем температуры 14 и электронным прибором 13 для регистрации термоЭДС. В ряде опытов для автоматического сбора и регистрации температурных измерений использовался комплект аппаратуры, снабженный регистрирующим и записывающим устройствами.

Эксперименты по динамике "шугообразования" проводили при различных значениях температуры жидкости (от 15 до 4 °С), фиксируя в каждой серии экспериментов один и тот же период намораживания τ_A (2 мин, 3 мин, 4 мин и т.д. до 10 мин). Определялась динамика изменения средней температуры некоторого объема V жидкости в экспериментальном льдогенераторе в форме зависимости: средняя температура жидкости в функции от времени. При обработке опытных данных сравнивали суммарные времена охлаждения заданного объема жидкости τ_0 при одних и тех же начальных (от 15 до 4 °С) и конечных (+4 °С, +2 °С, +1 °С) температурах в зависимости от τ_A . Фиксировали параметр τ_A , при котором достигался минимум τ_0 , т.е. минимум энергозатрат.

Такие эксперименты проводили при разных значениях объема охлаждаемой воды (1л, 2л, 3л) и определяли зависимость $(\tau_A)_{min}$ от соотношения S/V . Отдельно проводили дублирующие серии опытов для проверки воспроизводимости опытных данных. Анализ погрешностей ориентировался на: определение, известным образом, абсолютных погрешностей ΔA_i всех факторов A_i , влияющих на изменение основной зависимой переменной - времени достижения заданной средней температуры охлаждаемого объема; вычисления относительных погрешностей $\delta A_i = \Delta A_i / A_i$ и определение общей относительной погрешности $\delta \bar{A}_0$ по формуле $\delta \bar{A}_0 = \sum_i \delta A_i$ (1)

Для определения относительных погрешностей измерения температуры особое значение имеет выбор величины Δt_i - характерного температурного напора. Автор обосновывается объективностью выбора для температурных составляющих δA_i в качестве A_i величины $\Delta t_A = t_A - t_c$. Для конкретных значений $\Delta t_A = 1,0$ °С и 4,0 °С, соответственно, получены

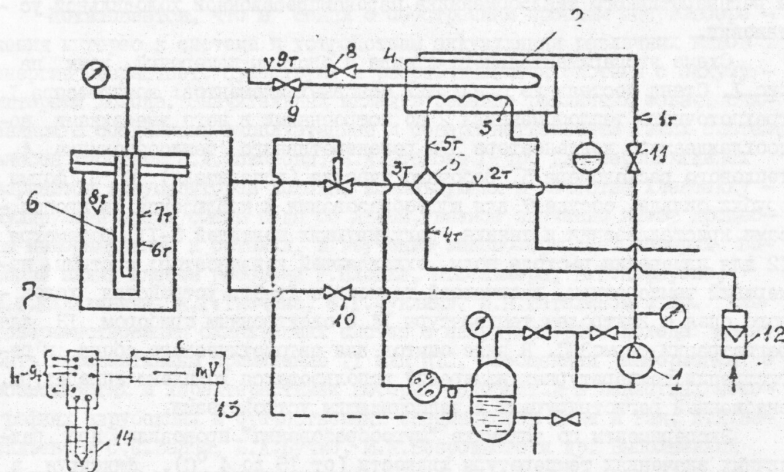


Рис.1 Схема экспериментальной установки. 1 - компрессор; 2 - трехплотный теплообменник; 3 - конденсатор; 4 - регенеративный теплообменник; 5 - тепловой расходомер; 6 - рабочий участок; 7 - сосуд для шугообразования.

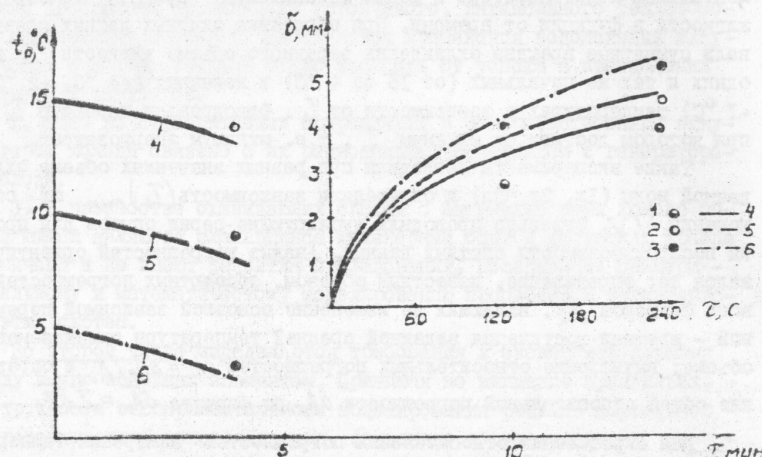


Рис.2 Динамика замораживания льда на поверхности рабочего участка (А) и динамика охлаждения объема на первом этапе "зарядки" (Б). Точки - эксперимент; линии - расчет. 1, 4 - $t_0 = 15^\circ\text{C}$; 2, 5 - $t_0 = 10^\circ\text{C}$; 3, 6 - $t_0 = 4^\circ\text{C}$.

оценки общей относительной погрешности принятой методики экспериментального моделирования: $\delta \bar{A}_0 = 7,4\%$ и $5,4\%$.

В третьей главе разрабатываются физические и математические модели процессов и режимов работы воледедных аккумуляторов холода. На основе сложившихся представлений о возможных допущениях при построении математических моделей поверхностной послойной кристаллизации построены такие модели: для льдогенератора плоской формы получено аналитическое решение вида

$$\tau = A_4/A_3 \ln \frac{A_1/A_2 - A_2}{A_1/A_2 - A_2 - \delta} - \delta/\lambda_3 \quad (2)$$

где $A_1 = (\lambda_n/\alpha_n \rho_n)(t_n - t_s)$; $A_2 = (\lambda_n/\alpha_o) + (\lambda_n/\lambda_c) \delta$
 $A_3 = (\alpha_s/\gamma_n \rho_n)(t_o - t_n)$; $A_4 = (t_n - t_s) \lambda_n / [\alpha_s(t_o - t_n)]$
 для льдогенератора цилиндрической формы соответствующая модель описывается дифференциальным уравнением, не имеющим аналитического решения,

$$\frac{d}{d\tau} (\bar{d}_n)^2 = \frac{2A_1'/d_2^2}{A_2' + \ln \bar{d}_n} - \frac{A_3' \bar{d}_n}{d_2} \quad (3)$$

Здесь $A_1' = 2A_1$; $A_2' = (2\lambda_n/\alpha_o d_2) + (\lambda_n/\lambda_c) \ln \frac{d_2}{\bar{d}_n}$; $A_3' = A_3$; $\bar{d}_n = \frac{d_1}{d_2}$

для льдогенераторов на основе ТТ плоской формы аналитическое решение процесса намораживания представляется формулой

$$\tau_3 = \frac{\gamma_n \rho_n}{t_{s1} - t_o} \left[\delta_n^2 / 2\lambda_n + \delta_n (1/\alpha_o + R_{TT}) \right] \quad (4)$$

С учетом формулы (4), используя основные положения методики расчета льдогенераторов обычного типа, сформулировано математическое описание задачи оптимизации, разработаны и реализованы алгоритмы и программы численных исследований.

В заключительном разделе 3.4 построены математические модели "зарядки" воледедных аккумуляторов холода периодического действия. Последовательно рассматриваются две модели "зарядки": 1 - "гомогенная" модель, в соответствии с которой предполагалось равномерное распределение таких элементов льда в общем объеме воледедной смеси, и 2 - "двухзонная", гетерогенная, модель, в которой предполагается, что в процессе "зарядки" и "аккумуляции" холода в объеме холодоаккумулятора существуют две зоны: зона "шуги", где идет накопление (при зарядке) и "хранения" холода в форме льда в пределах которой объемы воды и льда считаются равномерно распределенными, и зона "охлажденной" воды, сво-

бодной от льда. Между зонами осуществляется конвективный теплообмен.

Модель "зарядки" рассматривалась состоящей из нескольких стадий. Первая стадия соответствовала таким условиям аккумуляции холода, при которых время "намораживания" каждого последующего элемента льда было больше времени таяния предыдущего. Вторая стадия учитывала объективно процессы намораживания и таяния как независимые на каждом этапе численной процедуры, и на этой основе определялись характеристики процесса накопления льда и динамики отдельных его элементов.

Ромогенная модель зарядки аккумулятора холода описывается системой уравнений вида

$$\begin{aligned} d\delta_n/d\tau + (\alpha_n/\lambda_n \rho_n) \bar{v}_0 - \bar{v}_3 / [\lambda_n \rho_n (R_g + \delta_n/\lambda_n)] &= 0; \\ d\bar{v}_0/d\tau + A_{10} \bar{v}_0 - B_{10} &= 0; \\ d\delta_m/d\tau + A_{20} \bar{v}_0 &= 0; \quad \bar{v}_0 = \bar{t}_n - t_k \end{aligned} \quad (5)$$

Физический и расчетный анализ показывает, что за один период изменение \bar{v}_0 невелико, поэтому систему взаимосвязанных уравнений с нелинейными зависимостями для α , R_g и т.п. можно рассматривать как систему несвязанных уравнений, в которых динамика нарастания толщины льда определяется соответствующим уравнением "намораживания"

В результате решения этого уравнения мы получаем некоторые значения $\delta_n = (\delta_n)_0$ и $(F_n)_0$, где $(\delta_n)_0$ и $(F_n)_0$ - начальные значения толщины и поверхности элемента льда, отделяемого от поверхности кристаллизации. При переходе от одного "тающего" элемента к "n" первое и второе уравнения системы (5) не изменяются, но во втором уравнении изменится запись величины A_{10}

$$A_{10} = \frac{\alpha_n F_0}{\rho' C_p' V} (1 + 2\delta/L) + \alpha_n \sum_{i=k}^n F_{ni} \quad (6)$$

где K - номер элемента с наименьшей остаточной толщиной δ_n , но при $\delta_n \geq (\delta_n)_{\min}$

И, наконец, третье уравнение дополняется $n-K$ такими же уравнениями для $n-K$ соответствующих ледяных элементов, образующих "штуку".

Отметим, что условие $F_{ni} d\delta_n/d\tau \ll \delta_n \frac{dF_{ni}}{d\tau}$ справедливо при значительных \bar{v}_0 ($\bar{v}_0 > 10^\circ$). С уменьшением \bar{v}_0 указанное неравенство изменяется, при этом "воздействие" первого уравнения ограничивается только данными δ_n и $(\delta_n)_{\max}$ для новых элементов.

Приближенное аналитическое решение систем уравнений возможно при малом интервале времени, равном периоду намораживания τ_n , при $\bar{v}_0 \gg 1^\circ$.

Полное решение задачи возможно только в некоторой численной процедуре, в которой одновременно с изменением числа элементов "n" льда учитываются и сильные нелинейные изменения α_n , α'_n и т.п. Такое полное численное решение было реализовано с использованием алгоритма и программы, разработанных автором и представленных в диссертации.

Для двухзонной модели принято, что \bar{v}_0 уже не есть средняя избыточная температура всего объема жидкости, а это средняя температура жидкости в зоне "штуки" \bar{v}_m . Для остального объема жидкости температурный режим характеризуется некоторой средней температурой \bar{v}_0 . Между двумя зонами осуществляется процесс конвективного теплообмена, описываемого приближенной моделью

$$c_p(\bar{v}_0 - \bar{v}_m) = V_0' d\bar{v}_0/d\tau \quad (7)$$

Предлагается величину J_{lm} оценивать из следующих соображений $J_{lm} \sim j_m S_m$, где j_m/ρ' - плотность кинетической энергии некоторого конвективного потока жидкости, возникающего в процессе свободной конвекции. Полагаем, что эта величина пропорциональна движущему напорю Δp_g , который в режиме свободной конвекции приближенно равен $\rho' g \beta \Delta T L$, где L - характерный размер (вертикальный размер зоны 2) или приближенно вертикальный размер сосуда. Тогда

$$J_{lm} \sim \rho' \sqrt{g \beta \Delta T L}; \quad J_{lm} \sim \rho' S_m \sqrt{g \beta \Delta T L} \quad (8)$$

Результаты аналитических и экспериментальных исследований, их сопоставление между собой приводятся в четвертой главе. Там же приводится анализ схемных решений охлаждающих систем с льдогенераторами и водоледяными аккумуляторами холода, методики определения оптимальных конструктивно-технологических и режимных параметров. В отдельном разделе излагаются результаты оптимизации льдогенераторов на ТТ и их сопоставительный анализ с альтернативным техническим решением. В заключительном разделе главы дается описание и обоснование целесообразности новой конструкции кристаллизатора-льдогенератора на ТТ или ИТС, обеспечивающего снижение энергозатрат в процессах "оттайки".

Анализ данных экспериментов, представленных на рис. 2А и 2Б, показывает, что для первых этапов охлаждения наблюдается хорошее качественное и приемлемое количественное согласование. Видно, что расчетные и опытные данные согласуются как по динамике роста толщины льда $\delta_n = f(\tau)$ (рис. 2А, так и по динамике изменения температуры воды (рис. 2Б). Аналогичная, но с большими отклонениями, картина наблюдается при сопоставлении экспериментальных и опытных данных по темпе -

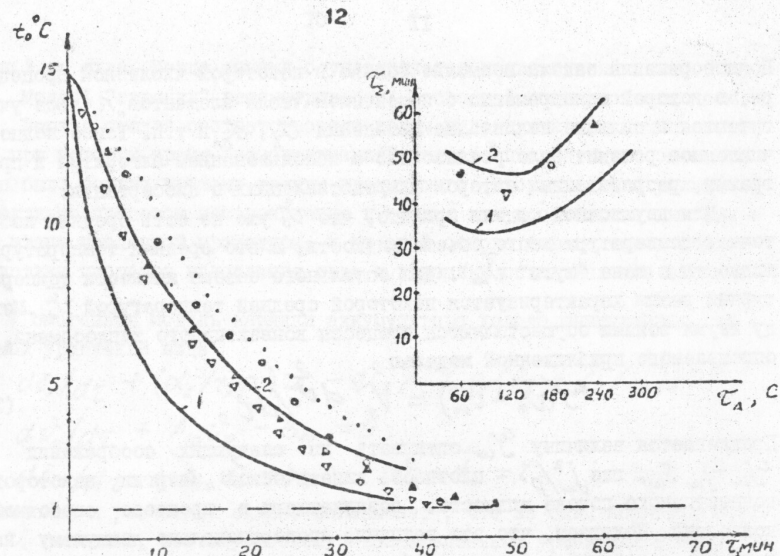


Рис.3 Полная динамика "зарядки" модельного аккумулятора. Точки - эксперимент; линии - расчет. 1 - однородная модель; 2 - 2-х зонная модель. ● - $\tau_A = 60\text{с}$; ▽ - $\tau_A = 120\text{с}$; ◻ - $\tau_A = 180\text{с}$; ▲ - $\tau_A = 240\text{с}$.

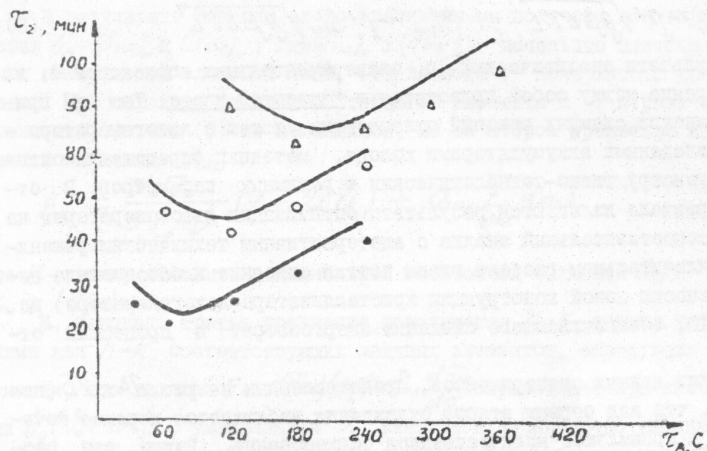


Рис.4 Влияние параметра (S/V) на оптимальные режимы "зарядки" аккумулятора. Линии - расчет по 2-х зонной модели; точки - эксперимент. 1, Δ - $S/V = 0,04$; 2, ◻ - $S/V = 0,06$; 3, ◻ - $S/V = 0,10$.

ратурным режимам "шугообразования".

Анализируя данные рис.3-4, можно заметить, что:

1) как эксперимент, так и математическое моделирование, свидетельствуют о существовании оптимальных режимов зарядки аккумуляторов холода, которым соответствуют минимальные затраты энергии при достижении одинаковых температурных условий на динамике охлаждения;

2) чем выше начальная температура t_0 и чем меньше отношение поверхности охлаждения к объему элементарной ячейки S/V_0 , тем выше значение оптимального периода намораживания $(\tau_A)_{opt}$;

3) для конкретных условий опытов при фиксированном значении поверхности намораживания $\sim 120\text{ см}^2$ объем элементарной ячейки 2л позволяет организовать устойчивый режим "шугообразования" холода

I-I,5 ч, что соответствует отношению $S/V_0 = 0,06\text{ м}^2/\text{м}^3$. При увеличении этой величины до $0,1\text{ м}^2/\text{м}^3$ не удается обеспечить существенное заполнение объема аккумулятора льдом.

При уменьшении этой величины до $0,04\text{ м}^2/\text{м}^3$ резко возрастает затраты времени на "зарядку", в особенности при повышенных начальных температурах воды. Поэтому значение S/V_0 порядка $0,05-0,06\text{ м}^2/\text{м}^3$ можно рекомендовать как рациональное для включения в состав исходных данных на разработку и проектирование аккумуляторов холода. Этому значению S/V_0 соответствует оптимальное значение периода намораживания $(\tau_A)_{opt} = 2\text{ мин}$ при начальной температуре охлаждаемой жидкости $t_0 = 15\text{ °C}$;

4) отметили, что по однородной модели не удается добиться при емлемого количественного согласования расчетных и опытных данных. Такое согласование достигается при использовании двухзонной "гетерогенной" модели.

Результаты оптимизации режимов работы льдогенераторов на ТТ при различных конструктивных параметрах L_n, L_k и разных интенсивностях внутреннего теплообмена в ТТ представлены в диссертации. Анализируя их, можно сделать заключение, что применение льдогенераторов с теплообменными трубами позволяет иметь технико-экономические показатели лучше, чем для оптимизированного кристаллизатора без ТТ. Применение эффективных теплоносителей и теплообменных структур внутри ТТ дает основание рассчитывать на заметное снижение суммарных затрат.

Указанные принципиальные преимущества льдогенераторов (кристаллизаторов) на ТТ послужили основой разработки нового типа льдогенератора периодического действия с применением ТТ, новизна которого защищена авторским свидетельством: №754679 от 22.05.1990г.

Отдельное место отводится методикам выбора основных конструктив-

ных и режимных параметров для охлаждающих систем с парокомпрессионными холодильными машинами и аккумуляторами холода.

Результаты исследований позволили сделать следующие общие выводы и рекомендации.

1. Применение аккумуляторов холода в разнообразных охлаждающих системах в пищевой технологии, кондиционировании и других областях техники является мощным средством энерго- и ресурсосбережения, имеет положительный опыт. Аккумуляторы холода вода-лед имеют принципиальные преимущества в сравнении с традиционными водяными аккумуляторами в сочетании с серьезными недостатками, обусловленными проблемами организации устойчивого интенсивного теплообмена в водолеяных системах. Перспективы применения водолеяных аккумуляторов в первую очередь будут зависеть от успеха в преодолении указанных недостатков.

2. В разработках охлаждающих систем с аккумуляторами холода определяющими являются сложившийся инженерный опыт и интуиция. Крайне ограничены исследования, посвященные математическому моделированию процессов и характеристик названных систем и устройств, не известны работы по их экспериментальному моделированию.

3. Предлагаемые экспериментальный стенд и методика экспериментального моделирования тепловых режимов генерации водолеяных смесей позволяют решать задачи такого моделирования при ограничении их температуры $t_0 > 1^\circ\text{C}$, использовании льдогенераторов с отделением льда путем внутренней его оттайки, соотношении объема льдородной смеси и поверхности льдогенератора от 10 до 50 м³/м².

4. Предложенные математические модели основных процессов, обеспечивающих зарядку аккумуляторов, определяют оптимальные режимы зарядки (периодичность замораживания $(\tau_a)_{opt}$, $(\tau/\tau_a)_{opt}$), обеспечивают качественное и определенное количественное согласование с опцем (модель "разделения") и могут служить основой для расчетного определения рациональных параметров, схем и режимов работы льдогенераторов периодического действия. Разделение рабочих объемов льдогенератора - аккумулятора холода является важнейшим фактором, учет которого в математических моделях необходим.

5. Наиболее перспективны для практического применения охлаждающие системы на основе водолеяных аккумуляторов холода с льдогенераторами периодического действия, имеющие общие рабочие объемы для генерации льда и аккумуляции холода и обеспечивающие реальное хранение холода в форме льда и в форме охлажденной воды.

6. Для выбора основных конструктивно-технологических параметров

охлаждающих систем с водолеяными аккумуляторами холода рекомендуются следующие соотношения: определение рабочего объема водолеяного аккумулятора холода V_0 , определение оптимальной рабочей температуры хладагента в испарителе холодильной машины t_{op} , и определение расхода воды в промежуточном контуре и числа единиц переноса (КФ) для теплообменника вода-продукт $(K\tau)_{opt}$ и $(K\tau)_{opt}$.

7. Создание конструкций льдогенераторов периодического действия на основе ТТ или ИТС по а.с. №75679 перспективно при достижении в них внутренних коэффициентов теплообмена порядка 10^3-10^4 Вт/(м²·К) и использовании источников отбросного низкопотенциального тепла для оттайки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Таубман Е.И., Смирнова Д.Г. Теплофизические задачи при замораживании и оттаивании в льдогенераторах с применением теплопередающих труб // Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК, торговле и на транспорте", 24-26 октября 1989г. - Одесса, - с.80.

2. E.I. Taubman, Smirnova D.H. "The thermophysical freezing and melting problems in the cooling systems with heat pipes or thermosyphons" Paper 5.2.8 n269 CHISA-90, Prague. 1990

3. Онищенко В.П., Смирнова Д.Г. Льдогенераторы с термосифонными трубными системами - перспективные устройства // Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. "Холод - народному хозяйству". - Ленинград, 1991, с.108-109.

4. А.с. СССР №75679, СОЗГ ИЛ/20, В 01.09/04. Устройство для обработки шлама замораживанием и оттаиванием /Мальцев М.Л., Д.Г.Смирнова, В.П.Онищенко; Опубликовано 15.08.92 с приоритетом от 22.05.90. - БИ №30.

Условные обозначения

τ - время, с; τ_0 - полное время охлаждения при "зарядке" водолеяного аккумулятора холода, с; τ_a - период "замораживания" в льдогенераторе периодического действия, °С; A - независимый фактор; A_0 - основной зависимый параметр; λ, τ, ρ - теплопроводность, теплоота фазового перехода, плотность, Вт/(м²·К), Дж/кг, кг/м³, соответственно; α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); δ_a и δ_c - толщина слоя льда и септики, м; d - диаметр, м; R - термическое сопротивление, К/Вт; t - тем-

xv 1004

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Библиотека

пература, К; θ - избыточная температура, °С, К; θ_0 - среднее значение избыточной температуры охлаждаемого объема жидкости, К; F - поверхность, м²; c_p - удельная теплоемкость, Дж/кг·К; L - длина, линейный размер, м; n - число элементов (кусков льда); G - массовый расход, кг/с; β - коэффициент объемного расширения; j - плотность массового потока, кг/(м²·с); S - поверхность генерации льда, м²; V - объем, м³; Δt и Δt_0 - разность температур.

И Н Д Е К С Ы

min - минимальный; max - максимальный; opt - оптимальный; л - льда; з - насыщения; с - стенки; тт - тепловой трубы; о - полный, основной; пл - плавления; оз - "замораживания"; л - жидкость; ш - пути.

Анотація

Смирнова Д.Г. Експериментальне та математичне моделювання теплових режимів акумуляторів холоду з льодогенераторами періодичної дії. Дисертація на здобуття вченої ступені кандидата технічних наук по спеціальності 05.14.05 - теоретичні заснови теплотехніки, Одеська державна академія холоду, Одеса, 1995. Досліджуються проблеми експериментального та математичного моделювання водо-льодяних акумуляторів холоду. Експериментальним та розрахунковим шляхами встановлюються оптимальні теплові режими водо-льодяних акумуляторів холоду періодичної дії, при яких досягаються мінімальні витрати енергії на "зарядку" акумулятора. Найкраще узгодження з дослідом дає двузона модель, в якій весь об'єм акумулятора з льодогенератором періодичної дії розподіляється на дві зони: "шуги" та вільний об'єм рідини. Досліджуються характеристики льодогенераторів періодичної дії на теплових трубах в порівнянні з традиційними льодогенераторами та показуються їх переваги.

Ключові слова: акумулятор, льодогенератор, заморожування, таяння, теплова труба, тепловіддача.

Summary

Smirnova D. H. The cold accumulator combined with periodical action ice-generator thermal regimes experimental and mathematical modelling. The dissertation for scientific degree of technical sciences on the speciality: 05.14.05. - the thermal engineering foundations. Odessa State Academy of Refrigerations, Odessa, 1995. The ice-water cold accumulator experimental and mathematical modelling problems are investigated. The ice-water cold accumulator of periodical actions optimal thermal regimes were discovered with experimental and calculation methods help. The minimum energy expenditures for accumulation of cold were obtained in these regimes. The best agreement with experiments was obtained when two-zone model was used. The ice-generator and cold accumulator whole volume is dividing in that model on two zone: the "ice-water mixture" zone and the pure liquid zone. The periodical action heat pipe ice-generator characteristics were investigated in comparison with traditional types of ice-generators. The heat pipe ice-generators advantages were shown.

Key words: accumulator, ice-generator, freezing, melting, heat pipe, heat transfer.

