

Автореферат  
А56

Гурану Ч. Т.

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

АЛЬ-АЛАМИ МОХАММЕД ХАСАН МАХМУД

УДК 637.5.037.004.162:577.4.001.8

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ  
ОХЛАЖДЕННОГО МЯСА

Специальность 05.18.14 – Холодильная технология  
пищевых продуктов

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

xv858

ІНСТІТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
бібліотека

Одесса – 1999

Автореферат является рукописью.

Работа выполнена в Одесской государственной академии холода (ОГАХ).

Научный руководитель: кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Кочетов Валентин Петрович, Одесская государственная академия холода, профессор кафедры холодильных установок

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Загоруйко Василий Анисимович, 05.18.12, Одесский государственный морской университет, профессор кафедры судового энергетического оборудования и технической эксплуатации флота

кандидат технических наук, Иукурдизе Важа Георгиевич, 05.18.14, Объединение "Одесвинпром", заместитель генерального директора

Ведущая организация: Одесская государственная академия пищевых технологий им. М.В.Ломоносова, Министерство Образования Украины, Одесса

Защита диссертации состоится "10" июня 1999 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании специализированного Ученого Совета Д 41.087.01 в Одесской государственной академии холода по адресу: 270100, г. Одесса, ул. Дворянская, 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОГАХ

Автореферат разослан "10" мая 1999 г.

секретарь  
Ученого Совета

Никлушин Р.К.

ных диаграмм

но – кратковременным режимом последовательных

ктродвигателя (с др

ния рабочего орг

0025 м

оту

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Экологизация технологий, используемых при решении продовольственной проблемы, предусмотренная Проектом 14 программы МАБ (ЮНЕСКО), и безальтернативность использования холодильных технологий в производстве и хранении пищевых продуктов ставят перед наукой новые задачи выбора оптимальных технологических параметров с целью уменьшения отрицательного техногенного воздействия холодильных технологий на окружающую среду.

Согласно данным исследований, проведенных в ОГАХ и С-ПБАХИПТ, на производство искусственного холода в АПК приходится значительная доля энергопотребления, в связи с чем применение холодильной технологий наносит адекватный ущерб окружающей среде, несмотря на общий положительный, с экологической точки зрения, эффект их использования в различных отраслях. В связи с тем, что исследования процессов холодильных технологий обработки и хранения пищевых продуктов, проводившиеся до настоящего времени, не учитывали их техногенное воздействие на окружающую среду, а действующие рекомендации по осуществлению технологий требуют пересмотра – разработка эколого-энергетического метода оценки технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса является актуальной. Комплексное изучение эколого-энергетических и технологических требований к выбору методов холодильной обработки мяса, выполненное в данной работе, проведено впервые. В основу работы положены результаты ранее выполненных теоретических и экспериментальных исследований по холодильной технологии (Чумак И.Г., Чижов Г.Б., Головкин Н.А., Загоруйко В.А., Онищенко В.П., Шахневич В.И., Шеффер А.П.), а также принят во внимание энергетический подход к оценке технологий, изложенный в работах Бродянского В.М., Мартыновского В.С., Чулкина С.Г. и др.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнялась в рамках государственной научно-технической программы Министерства Образования Украины №51 "Научные основы создания новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, машин и аппаратов для пищевой промышленности (ГР. №01.97U016061), а также государственной научно-технической программы Министерства науки и промышленной политики (П. 5.513 "Методы и способы практической реализации приоритетных направлений энергосбережения в экономике Украины") и Европейской программы "На пути к экологически устойчивой энергетике".

### Цель исследований:

- разработать новый метод выбора холодильных технологий обработки мяса исходя из системной оценки прямых и косвенных затрат энергии, материалоемкости охлаждающих систем, потерь массы и качества мяса, и учитывая комплексное техногенное влияние этих факторов на окружающую среду, проявляющееся в форме вредных выбросов;
- выполнить технико-экономический и экологический анализ современных технологий холо-

холодильной обработки мяса и определить какие из них можно рекомендовать для дальнейшего использования.

В соответствии с целью работы сформулированы и решены такие задачи:

- оценка влияния на окружающую среду отдельных компонентов, характеризующих холодильные технологии и работу охлаждающих систем;
- экспериментальное и теоретическое исследование влияния различных режимов холодильных технологий охлаждения и замораживания мяса на уровень энергозатрат и потерь массы от естественной убыли;
- определение удельных показателей по материалоемкости, капитальным и эксплуатационным затратам при использовании искусственного холода для обработки мяса на основе анализа современных типовых проектов холодильников;
- определение техногенного влияния отдельных параметров холодильных систем на окружающую среду, определение прямых и косвенных затрат энергии при осуществлении холодильных технологий;
- разработка требований к охлаждающим системам камер охлаждения и хранения мяса на основе эколого-экономической и энергетической оценки климатических условий Ближнего Востока;
- разработка показателя экологической оценки холодильных технологий, соответствующего требованиям Европейской программы (1997 г.), и позволяющего осуществлять эту оценку на основе принятых в мировом сообществе рекомендаций по определению обобщенного техногенного параметра TEWI.

Научные положения:

1. Оценка холодильных технологий методами многопараметрической оптимизации, технико-экономического или энергетического анализа, осуществлявшаяся до настоящего времени, не включает факторы отрицательного техногенного воздействия этих технологий на окружающую среду, что не позволяет произвести на основе этих методов достоверную оценку экологосовместимости технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса.
2. При оценке техногенного воздействия технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса на окружающую среду эколого-энергетическая экспертиза технологических процессов должна базироваться на расчете комплексного показателя – Полного Эквивалента Глобального Потепления (TEWI<sub>T</sub>), разработанного с учетом особенностей и всего спектра энергетических затрат технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса.

Научную новизну исследования составляют:

- методика пересчета материальных, ресурсных и эксплуатационных затрат на осуществление холодильных технологий в эквивалентные прямые и косвенные затраты электроэнергии;

- методика эколого-энергетической экспертизы технологий холодильной обработки мяса, базирующаяся на определении TEWI;
- анализ структуры TEWI<sub>T</sub> и рекомендации по внедрению мероприятий, способствующих уменьшению вклада энергетических затрат в парниковый эффект при холодильной обработке и хранении охлажденного мяса;
- обобщенные критерии, предназначенные для применения в оптимизационных расчетах в качестве функционалов и использования в структуре эколого-энергетического менеджмента и консалтинга;
- результаты анализа, полученные с помощью TEWI<sub>T</sub>-метода, подтверждающие преимущества быстрого охлаждения мяса с применением субкриоскопических температур при его хранении;
- методика оценки влияния регламентных параметров технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса на окружающую среду на основе определения отношения массы CO<sub>2</sub> в кг к 1 кВт·ч затраченной электроэнергии;
- экспериментальные результаты, полученные при исследовании режимов охлаждения мяса с перехватом внешних теплопритоков;
- результаты исследований процессов тепломассообмена при охлаждении мяса и анализ зависимостей для расчета усушки.

Практическое значение полученных результатов заключается в разработанной инженерной методике расчета эколого-энергетической оценки технологии охлаждения и хранения мяса, позволяющей выбрать наиболее эффективные температурные режимы работы систем и конструкции холодильных машин и аппаратов.

Достоверность научных результатов и научных положений подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями, анализом погрешностей, согласованностью полученных данных с информацией о естественных потерях мяса и расходе электроэнергии при осуществлении холодильных технологий, имеющейся в нормативной и научно-технической литературе.

Личный вклад соискателя. Диссертация выполнена самостоятельно с использованием консультаций научного руководителя. В опубликованных работах, напечатанных в соавторстве, диссертанту принадлежат отдельные теоретические разработки, постановка и выполнение эксперимента, научный анализ результатов исследований, разработка критериев оценки энергетических, режимных параметров технологий и составление методики выбора технологий на основании критерия TEWI<sub>T</sub>.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы докладывались на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников

ОГАХ в период с 1996–1998 г.; на международной научно-технической конференции "Холод и пищевые производства", тезисы докладов, Санкт-Петербург, октябрь 1996 г.; на международной конференции, Purdue University, Purdue, USA, 14–17.07. 1998; на международной выставке-конференции, 27–29 ноября 1997 г., г. Одесса; на международной конференции "Агропродмаш–98", 12–14 марта 1998 г., г. Одесса; в научных журналах "Холодильная техника и технология"; на областной научно-технической конференции "Прикладная вузовская и отраслевая наука", 11 марта 1999 г., г. Одесса.

Публикации: Основное содержание диссертации опубликовано в 5 статьях.

Структура и объем диссертации. работа включает введение, четыре главы, выводы, список литературных источников, приложения. Основной текст содержит 152 страницы машинописного текста, 31 таблицу, 23 рисунка, 178 наименований библиографии.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение к диссертационной работе содержит краткую оценку техногенного воздействия технологий холодильной обработки пищевых продуктов на окружающую среду, обоснование актуальности диссертационной темы, защищаемые научные положения и основные информационные данные о проведенной работе.

В первой главе подробно проанализированы научные публикации по вопросам оптимизации технологических режимов холодильной обработки мяса и показано, что имеющиеся разрозненные данные о разных методах и режимах холодильной обработки не позволяют получить однозначный ответ на вопрос о выборе оптимального режима охлаждения и замораживания. Результаты исследований, в которых в качестве основного критерия оптимизации принимался уровень приведенных затрат, в настоящее время нельзя использовать из-за изменившихся рыночных условий, изменившихся ценностных соотношений и самих цен на электроэнергию, материалы и продукцию машиностроения. Кроме того, в рассмотренных работах не учитывалось, что использование ресурсных энергоносителей для осуществления холодильных технологий приводит к загрязнению окружающей среды, способствуя развитию экологического кризиса, вызывая необходимость в дополнительных затратах на его предотвращение. В результате, на основе выполненного анализа, сделаны конкретные выводы, сформулированы цели и задачи исследований диссертационной работы.

Вторая глава посвящена анализу методов холодильной технологии и оценке влияния параметров технологического регламента и отдельных элементов охлаждающих систем на окружающую среду.

Приведены результаты экспертной оценки методов и средств холодильной технологии, полученные на основе анализа типовой проектной документации холодильников мясокомби-

натов холодопроизводительностью 100 т/смену и натурального обследования производственных холодильников мясокомбинатов в октябре 1997 г. в городах Котовск, Мелитополь, Житомир и Тернополь.

На основе проведенной экспертизы были получены данные о затратах энергии, металла, эксплуатационных и капитальных затратах, отнесенные к одной тонне мяса, определены удельные прямые и косвенные затраты электроэнергии. Эти данные об удельных показателях технологий ускоренного и быстрого способов охлаждения, однофазного и двухфазного замораживания мяса и подмораживания с хранением при близкриоскопических температурах заложены в основу разработки методик ТЕWIT и оценки выделяемого CO<sub>2</sub> на 1 кВтч затраченной электроэнергии в процессах холодильной технологии.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования процесса охлаждения мяса, определения тепловых потоков и естественных потерь от усушки при основных температурных режимах (2...–2 °C) в условиях вынужденной и естественной конвекции воздуха. Целью испытаний было определение возможности применения зависимостей для усушки мяса, предложенных в работах Онищенко В.П. и Чумак Н.И. Теоретические основы расчетов построены на закономерностях термодинамики влажного воздуха, которые обуславливают возможность усвоения сухой частью воздуха определенной массы водяных паров в функциональной зависимости от количества тепла, воспринимаемого в процессе теплообмена с мясом. Рассматривались зависимости:

$$\Delta G = \frac{Q - m \cdot C_{\text{вл.в.}} \cdot \Delta t}{r(t)}, \quad (1)$$

$$\Delta G = \frac{Q - m \left( \frac{\partial i}{\partial \phi} \right)_d}{\varepsilon_\phi}, \quad \text{полученная Онищенко В.П.} \quad (2)$$

$$\Delta G \cong \frac{Q \left( \frac{i}{\varepsilon_d} \right)}{r(t)}, \quad \text{полученная Чумак Н.И.} \quad (3)$$

Расчет усушки мяса можно проводить и по эмпирической формуле, предложенной автором:

$$\Delta G = a + b \cdot c^T. \quad (4)$$

При этом было установлено, что значения постоянной "а" изменяются от 1.16% до 1.84, значения постоянной "b" – от 0.39 до 0.45, а значения постоянной "с" – от 0.36 до 0.29 в зависимости от вида предварительной обработки (мокрая, сухая), способа охлаждения и категории мяса.

Так как физический смысл формул идентичен, специфика расчета выразилась в сложности в определении величин  $\left( \frac{\partial i}{\partial \phi} \right)_d$ ,  $\Delta \phi$  и  $\xi_d$ ,  $\Delta t$ ,  $\varepsilon_\phi$ . Определение  $\Delta G$  при охлаждении мяса, выполненное в процессе экспериментальных исследований, подтвердило обоснованность применения указанных зависимостей

Расчет усушки по зависимостям (1)–(3) потребовал определения точных значений температур и относительных влажностей воздуха до и после его контакта с продуктом, скорости воздуха в камере. В соответствии с этим при проведении экспериментальных исследований по фиксированным значениям параметров находили:

- среднюю температуру поверхности продукта;
- температуру в центре продукта;
- среднеобъемную температуру  $t_s$ ;
- температуру и относительную влажность воздуха до теплообмена с продуктом и после него;
- массовый расход воздуха, участвующего в теплообмене с охлаждаемым телом;
- коэффициент  $\varepsilon_{\phi}$ ,  $(\frac{\partial \dot{q}}{\partial \phi})_d$  с учетом барометрического давления, температуры и относительной влажности воздуха, омывающее охлаждаемое тело;
- количество теплоты, выделяемой продуктом при охлаждении;
- коэффициент влагоусвоения  $\xi_a$ ;
- количество теплоты, поступающей в камеру через ограждения камеры.

По измеренным барометрическому давлению, начальной и конечной температурам воздуха, начальному и конечному значениям относительной влажности воздуха и скорости его движения, массе охлажденного продукта с начальной и конечной среднеобъемными температурами вычисляли величины:  $Q$  – количество отнятой у продукта теплоты;  $m$  – массу воздуха, участвующего в процессе;  $\Delta G$  – количество усвоенной воздухом влаги.

Экспериментальный стенд представлял собой стандартную камеру КТК–3000 с полезной холодопроизводительностью установки при  $t_k=20$  °С – 2800 Вт. Регулирование температуры и влажности автоматическое, диапазон температур  $-30 \pm 30$  °С. Постоянство поддержания температур в зависимости от режима  $\pm(0.2+1.0)$  °С. Мясо в четвертинах размещалось в камере и ограждалось пленкой от общего объема, воздух подавался снизу вверх, омывая образец. Потери мяса определялись на почтовых весах ВП–150 с погрешностью  $\pm 0.005$  кг. Усушка мяса определялась в динамике процесса охлаждения тензодатчиком. Приборы и датчики объединялись в измерительный комплекс, куда входили: коммутатор измерительных сигналов – ЦС–650003, универсальный цифровой вольтметр – В7–23 и В7–27, медь–константановые термопары – 40 шт., тензоусилители типа УТ–4. Измерение влажности воздуха производилось гигрометром для грубого контроля и гигрискорами с абсолютной погрешностью  $\pm 0.01+0.02\%$  влажности на 1 °С.

С целью повышения точности расчета  $\Delta G$ , члены  $\Delta t$  и  $m$  были исключены из анализа и в результате приравнивания правых частей формул (1) и (2) получено выражение, по которому проводили расчет усушки  $\Delta G$  по измеряемым величинам  $\Delta t$ ,  $\Delta \phi$  и выделенной величине  $m$ :

$$\Delta G = m \frac{C_{пл.в} \cdot \Delta t - \left( \frac{\partial \dot{q}}{\partial \phi} \right)_d \Delta \phi}{\varepsilon_{\phi} - \tau(t)} \quad (5)$$

Небольшая величина значений  $\Delta t$  и  $\Delta \phi$  при больших значениях  $m$  потребовала высокой точности измерения  $\Delta t$  и  $\Delta \phi$ . Измерения  $\Delta t$  в эксперименте реализовывались с точностью до 0.01 °С. Измерение  $\Delta \phi$ , особенно в области низких температур было достаточно проблемным и осуществлялось только гигрискорами.

Анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать использовать указанные зависимости для сопоставления различных процессов холодильной обработки по методике TEW<sub>1T</sub>, разработанной автором.

Результаты экспериментальных значений усушки мяса при его охлаждении представлены графически на рис. 1–3.

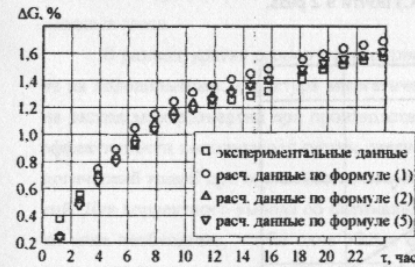


Рис. 1. Значения усушки мяса по времени при охлаждении до 0 °С



Рис. 2. Значения усушки мяса по времени при охлаждении до минус 2 °С



Рис. 3. Значения усушки мяса по времени при охлаждении до 2 °С

На основании экспериментальных данных были сформулированы предложения по выбору холодильных технологий и разработке систем охлаждения камер хранения для холодильников Палестины. Эти предложения сведены к следующему:

- воздухораспределение в камерах холодильников должно обеспечивать частичный перехват внешних теплопритоков воздухом и его увлажнение перед подачей к продукту;
- установку вентиляторов следует предусматривать до воздухоохладителей с целью гашения теплопритоков, эквивалентных мощности затраченной на работу электродвигателей;

– в камеры хранения следует обеспечить перехват внешних теплопритоков путем создания максимального радиационного теплообмена батарейных систем с ограждениями и продуктом.

В диссертации приведены расчеты среднегодовых потерь мяса  $\Delta G$  от усушки в зависимости от температуры воздуха в камерах холодильников для условий Палестины, рис. 4. Из графика видно, что применение систем охлаждения для камер хранения с гашением внешних теплопритоков уменьшает усушку (при минус 24 °С) почти в 2 раза.

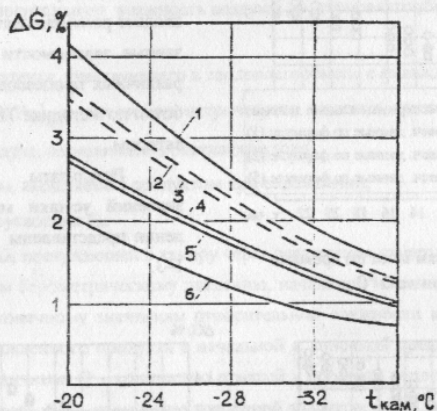


Рис. 4. Зависимость среднегодовой усушки от изменения температуры воздуха камеры для условий Палестины

1 – усушка для воздушного охлаждения с общеобменной вентиляцией; 2 – усушка для воздушного охлаждения с гашением 50% тепла, эквивалентного работе электродвигателей вентиляторов; 3 – то же, с перехватом внешних теплопритоков через перекрытия на 20%; 4 – усушка для воздушного охлаждения с гашением тепла, эквивалентного работе электродвигателей вентиляторов с полным перехватом внешних теплопритоков через перекрытия; 5 – усушка для системы ребристыми приборами; 6 – усушка для панельной системы охлаждения

Четвертый раздел диссертации посвящен разработке методики эколого-энергетической экспертизы для предприятий холодильной обработки мяса. В разделе подчеркивается, что влияние выбросов парниковых газов на процесс глобального потепления Земли представляет большую экологическую опасность для существования технократической цивилизации. По этой причине в рамках принятых решений Протокола Киото (Япония, 1987 г.) промышленно развитые страны приняли обязательства по ограничению выбросов радиационно-активных газов. Для реализации указанных обязательств были сформулированы основополагающие принципы потребления энергии экоустойчивым образом. Среди них основополагающими являются: принцип предупреждения; принцип платы за загрязнение; принцип равноправия; принцип равноправия поколений.

Общий объем энергии, потребляемой установками для получения искусственного холода в промышленно развитых странах достигает 20%. В данной ситуации развитие законодательства и норм способствующих повышению энергетической эффективности промышленного оборудования и используемых холодильных технологий является одной из актуальных задач, стоящих перед эколого-энергетическим аудитом и менеджментом в холодильной отрасли. В качестве одной из необходимых мер для решения данной задачи следует рассматривать установление "CO<sub>2</sub>/энергетического" налога, который бы способствовал сокращению эмиссии парниковых газов.

В разделе кратко рассмотрены различные подходы к оценке эффективности производства на холодильниках, структура энергетических затрат и влияние эксплуатационных факторов на расход электроэнергии при производстве холода. Из приведенного анализа методик оценки эффективности холодильных систем следует, что ни одна из них не в состоянии оценить экологический ущерб при производстве искусственного холода в рамках альтернативных технологий. Для корректного вывода об оптимальности какой-либо технологии термической обработки мяса необходимо, чтобы одна общая целевая функция охватывала множество экономических, энергетических и экологических факторов. То есть для оценки эколого-энергетического совершенства различных холодильных технологий необходима разработка новых технико-экономически-экологических методик.

С позиций общества в целом в качестве функционала, который бы отражал множество частных факторов определяющих экологические свойства холодильных технологий можно принять совокупность энергетических затрат на разработку, производство и эксплуатацию данной холодильной системы за все время ее использования с последующей трансформацией количества энергии в экологический критерий TEWI<sub>T</sub>:

$$TEWI_T = GWP_R \cdot L \cdot N + GWP_R \cdot M_1(1 - \gamma) + GWP_{BA} \cdot M + \alpha \cdot E \cdot N + \sum_{i=1}^n \alpha \cdot E_i + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha}{\beta} C_i + \frac{\alpha}{\beta} m \cdot \Pi, \quad (6)$$

где TEWI<sub>T</sub> – Полный Эквивалент Глобального Потепления за время эксплуатации оборудования в рамках какой-либо технологии; GWP и GWP<sub>BA</sub> – Потенциал Глобального Потепления вносимый хладагентами от утечек из системы и вспенивающего агента изоляции; L – утечка хладагента, кг/год; N – время эксплуатации оборудования; M<sub>1</sub> – масса хладагента в единице продукции, кг; γ – доля утилизированного хладагента; α – эмиссия CO<sub>2</sub> при производстве 1 кВтч, кг CO<sub>2</sub>/кВтч; E – годовые затраты электроэнергии на эксплуатацию оборудования, кВтч/год; E<sub>i</sub> – энергетические затраты, связанные с изготовлением холодильного оборудования; C<sub>i</sub> – стоимость помещения, фундамента, транспортировки, монтажа, обеспечения мер пожаробезопасности и т.д.; β – тарифная стоимость электроэнергии; Π – цена поступающего на холодильник мяса; m – масса усушки мяса.

Критерий TEWI<sub>T</sub>, рассчитанный по формуле (6), достаточно полно охватывает весь спектр энергетических затрат на производство искусственного холода, которые через коэффициент α переведены в массу CO<sub>2</sub>. Поэтому TEWI<sub>T</sub> учитывает вклад энергетических затрат свя-

занных с реализацией технологического процесса охлаждения мяса в увеличении радиационного форсинга вызванного увеличением концентрации  $CO_2$  в атмосфере. Однако  $TEWI_T$  имеет абсолютное выражение (в кг  $CO_2$ ) и поэтому будет зависеть от производительности холодильника, что затрудняет проведение эколого-энергетической экспертизы. Поэтому для реализации поставленных в диссертации задач и рассмотрения спектра индикаторов, используемых при экологической оценке и контроле производства, предложено применять следующие коэффициенты:

$$\overline{TEWI}_T = \frac{TEWI_T}{TEWI_E}, \quad (7)$$

$$Tewi = \frac{TEWI_T}{Q_0 \cdot \alpha \cdot \tau}, \quad (8)$$

$$K_1 = \frac{TEWI_T}{(\alpha \cdot M_2 \cdot Ц_2 \cdot \beta)}, \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{TEWI_T}{M_1(H_1 - H_2)\alpha}, \quad (10)$$

где  $TEWI_E$  – косвенный вклад в  $TEWI_T$  от энергетических затрат, связанных с эксплуатацией холодильного оборудования;  $Q_0$  – холодопроизводительность,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $Ц_1$ ,  $Ц_2$  – масса и цена до и после термообработки (с учетом усушки).

В диссертации приведена характеристика каждого из предложенных коэффициентов и отмечается, что предложенные коэффициенты могут использоваться как на стадии выбора холодильной технологии, так и на стадии организации производства, т.к. в них гармонично сочетаются экологические аспекты, экономические факторы и энергетические затраты на производство холода. Применение указанных коэффициентов на практике будет в полной мере способствовать направлениям развития экологически устойчивой энергетики.

Изложенные выше принципы  $TEWI_T$ -анализа были применены к оценке эколого-энергетической эффективности различных технологий термической обработки мяса, реализуемых в 100-тонном холодильнике. С этой целью были рассмотрены ускоренный (1) и быстрый (2) способы охлаждения, а также три метода замораживания: двухфазный (3), однофазный (4) и подмораживание (5) (см. рис. 5–9). Исходная для расчета  $TEWI_T$  информация была получена в ходе испытаний на производственных холодильниках в городах Котовск, Мелитополь, Житомир, Тернополь.

В разделе выполнен подробный анализ структуры  $TEWI_T$ . Выполненные расчеты показывают, что основной вклад в  $TEWI_T$  вносят энергетические затраты, связанные с усушкой мяса при термической обработке (от 75 до 86%  $TEWI_T$ ). Вторым по значимости фактором являются энергетические затраты на охлаждение мяса (от 7 до 17%  $TEWI_T$ ). Эксплуатационные расходы вносят вклад от 2 до 4,6%. Удельные капитальные затраты сравнительно мало влияют на величину  $TEWI_T$ : от 1,6 до 3,6%. Поэтому, учитывая высокий уровень энергетических потерь за счет теплоприготовов, экономически и экологически оправдано увеличение капитальных затрат на обеспечение эффективной работы холодильника и охлаждающей системы.

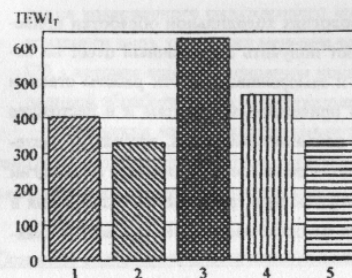


Рис. 5. Величина  $TEWI_T$  для различных холодильных технологий

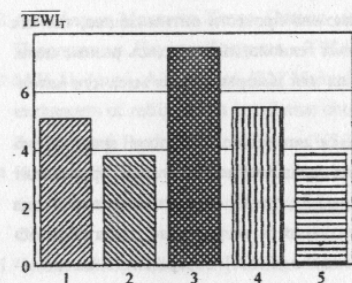


Рис. 6. Величина  $\overline{TEWI}_T$  для различных холодильных технологий

На рис. 5–9 приведены результаты расчета  $TEWI_T$ ,  $\overline{TEWI}$ ,  $Tewi$ ,  $K_1$  и  $K_2$ , из которых следует, что наименьший вклад в увеличение радиационного форсинга вносят быстрый способ охлаждения мяса и процесс, использующий подмораживание. Это обстоятельство, а также высокое качество производимого продукта позволяет рекомендовать технологию с подмораживанием для более широкого внедрения на предприятиях Европы и Ближнего Востока.

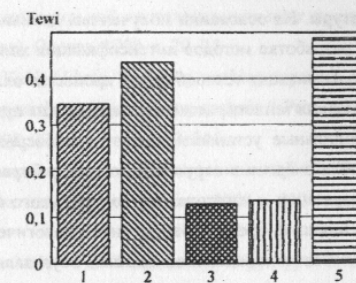


Рис. 7. Величина  $Tewi$  для различных холодильных технологий

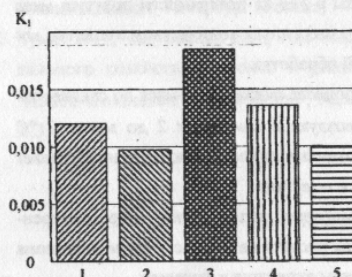


Рис. 8. Величина  $K_1$  для различных холодильных технологий

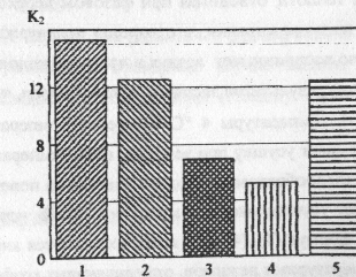


Рис. 9. Величина  $K_2$  для различных холодильных технологий

Общие выводы и рекомендации.

1. Опубликованные в научных работах данные о технологиях холодильной обработки приведены для разных методов обработки и не позволяют получить однозначный ответ на вопрос о выборе оптимального режима охлаждения и замораживания. Эти работы ставили своей целью определить оптимальные режимы по приведенным затратам и в настоящее время их нельзя использовать из-за изменившейся конъюнктуры рынка, стоимости материалов, установок и энергии. Кроме того, оптимизация режимов холодильной технологии без учета факторов техногенного воздействия на окружающую среду систем охлаждения и холодильников, не дает достоверных результатов, на которые могут ориентироваться практические работники.
2. Выводы и рекомендации, сделанные в работах по созданию новых методов интенсификации холодильной обработки, таких как однофазный метод замораживания, поточный метод, предварительное охлаждение, интенсивное охлаждение, использование субкриоскопических температур являются основанием только для разработки охлаждающих систем и аппаратуры. На основании полученных данных невозможно провести оптимизацию, так как при разработке методов интенсификации холодильных технологий ставились разные цели: интенсификация теплообмена в процессах охлаждения или замораживания мяса или интенсификация теплопередачи в охлаждающих приборах.
3. Холодильные установки являются непосредственным источником сбросов вредных веществ и энергии в окружающую среду. Отрасли и их предприятия, в которых происходит эксплуатация и изготовление холодильного оборудования, также отрицательно влияют на окружающую среду. Современная экологическая ситуация и возрастание масштабов использования холодильной техники обуславливают необходимость совершенствования охлаждающих систем с целью повышения их положительного и снижения отрицательного воздействия на природную среду.
4. Анализ экспериментальных данных показывает, что на величину усушки влияет не только количество теплоты участвующей в процессе, колебания и значения температуры воздуха, но и теплота, отводимая при фазовом переходе воды в лед на поверхности полутуш мяса при подмораживании, что хорошо подтверждается измеренным количеством теплоты, которую воспринимает воздух в процессе холодильной обработки.
5. Анализ результатов экспериментов показал, что в процессе охлаждения мяса до среднеобъемной температуры 4 °С снижение температуры воздуха в камере от 2 до минус 2 °С уменьшает усушку при условии, если температура воздуха в цикле охлаждения не вызывает кристаллообразования воды в клетках на поверхности полутуш.
6. Расчет усушки мяса для методики TEWI<sub>T</sub> необходимо проводить по одной из рассмотренных формул (1)–(4), для которых имеются алгоритмы расчета на ЭВМ с учетом диапазона температурных режимов, определяющих коэффициенты входящие в формулу.
7. Анализ данных и проведенных исследований с помощью TEWI<sub>T</sub> методики показали, что применение температур, близких к криоскопическим, дает возможность продлить срок хра-

нения упакованного охлажденного мяса в 3...4 раза при сохранении хорошего качества и товарного вида, оказывает меньшее влияние на окружающую среду – уменьшается эмиссия CO<sub>2</sub> которая является основным показателем техногенного воздействия технологий холодильной обработки мяса на окружающую среду.

Результаты анализа холодильных технологий по методу TEWI<sub>T</sub> показывают, что достоинством предложенного метода является его высокая адекватность к изменяющимся условиям эксплуатации холодильного оборудования и всего холодильника в целом.

Основное содержание диссертации изложенное в трудах:

1. Аль-Алами М., Гордиенко А.В., Чумак Н.И. Эколого-энергетический метод оценки холодильной технологии пищевых продуктов. Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики: Сб. научных статей / ОЦНТЭИ – Одесса: АОЗТ ИРЭНТТ, 1997. – с. 181–183.
2. Аль-Алами Мохамед Хасан. Оценка методов холодильной технологии пищевых продуктов. Перспективы. Научный журнал – 2'98 (Додаток). Одесса, 1998. с. 20–24.
3. M.H.Al-Alami, A.H.Zeaiter, H.M.Moinuddin, G.K.Al-Akhras. Reducing working expenses of heat exchangers of refrigeration installation obtained by method of heat-saving analysis // Proc. 1998 Int. Refrig. Conf. Purdue Univ. – Purdue (USA). – 1998, 07.14–17. – P. 239–244.
4. Кочетов В.П., Аль-Алами М.Х. Экологическая оценка холодильных технологий обработки и хранения говядины в полутушах // Холодильна техника і технологія. – 1998. – №1 (вып.58). – С. 68–71.
5. Чумак И.Г., Железный В.П., Аль-Алами М.Х. TEWI-анализ в структуре эколого-энергетического менеджмента предприятий холодильной обработки мяса // Холодильна техника і технологія. – 1998. – №1 (вып.58). – С. 74–79.
6. Чумак И.Г., Чепурненко В.П., Аль-Алами М.Х. Современные технологии обработки мясопродуктов // Междунар. научно-технич. конф. "Холод и пищевые производства", тезисы докладов, Санкт-Петербург (Россия). – 1996. – С. 109.
7. Чумак И.Г., Чепурненко В.П., Аль-Алами М.Х. Концепция развития и формирования холодильного хозяйства регионов в рыночных условиях // Междунар. научно-технич. конф. "Холод и пищевые производства", тезисы докладов, Санкт-Петербург (Россия). – 1996. – С. 323.

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Q – количество теплоты, кДж; ΔG – усушка, количество массы влаги, усвоенной воздухом, кг; m – масса сухой части воздуха, масса мяса, масса хладагента, приходящееся на единицу обрабатываемого продукта, кг; C – удельная теплоемкость, Дж/кгК; C<sub>1</sub> – себестоимость помещения, фундамента, транспортировки, монтажа, обеспечения мер пожаробезопасности и т.д., t – тем-

пература, °C;  $r(t)$  – теплота испарения воды, кДж/кг;  $Q_0$  – холодопроизводительность, кВт;  $\epsilon$  – тепловлажностное отношение, кДж/кг;  $\xi_a$  – коэффициент влагопереноса;  $\phi$  – относительная влажность воздуха;  $G$  – масса продукта, кг;  $i$  – энтальпия воздуха, кДж/кг;  $L$  – утечка хладагента, кг/год;  $N$  – время эксплуатации оборудования;  $M_i$  – масса хладагента в единице продукции, кг;  $\gamma$  – доля утилизованного хладагента;  $\alpha$  – эмиссия CO<sub>2</sub> при производстве 1 кВт·ч электроэнергии, кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч;  $E$  – годовые затраты электроэнергии на эксплуатацию оборудования, кВт·ч/год;  $\beta$  – тарифная стоимость электроэнергии, у.е.;  $\Psi$  – цена поступающего на холодильник мяса, у.е.;  $M_1, M_2, \Psi_1, \Psi_2$  – масса и цена продукции до и после термообработки (с учетом усушки), кг, у.е.;  $H_1, H_2$  – значение энтальпии при охлаждении мяса (до и после холодильной обработки), кДж/кг;  $K_1, K_2$  – коэффициенты, учитывающие все виды энергетических затрат при холодильной обработке.

#### АНОТАЦІЯ

Аль-Аламі Мохаммед Хасан Махмуд. "Розробка методу еколого-енергетичної оцінки технологій охолодження і зберігання охолодженого м'яса". Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.14 – Холодильна технологія. Одеська державна академія холоду, Одеса, 1999 р.

Дисертація присвячена питанням оновлення та вибору методів холодильної технології на підставі їх еколого-енергетичної оцінки. В роботі розвивається новий метод екологічної оцінки технологічних та технічних рішень, який базується на концепції зменшення емісії CO<sub>2</sub> при виробництві 1 кВт/рік електроенергії, витраченої на організацію та здійснення технології. Запропоновано новий метод TEWI<sub>T</sub> еколого-енергетичної експертизи існуючих технологій, за допомогою якого встановлено найбільш ефективний метод охолодження і зберігання охолодженого м'яса, рекомендовано режими і охолоджуючі системи для південних регіонів України і Палестини. Для проектувальників розроблено алгоритм розрахунку за новою методикою TEWI<sub>T</sub>, яка обґрунтована теоретично і підтверджена практично в експерименті.

Ключові слова: холодильна технологія, еколого-енергетична оцінка, аналіз, емісія, глобальне потепління, термодинаміка вологого повітря, гашення, перехоплення.

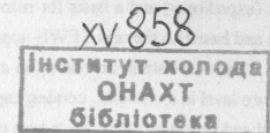
#### АННОТАЦИЯ

Аль-Алами Мохаммед Хасан Махмуд. "Разработка метода эколого-энергетической оценки технологий охлаждения и хранения охлажденного мяса". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.14 – Холодильная технология. Одесская государственная академия холода, Одесса, 1999 г.

Диссертация посвящена вопросам обновления и выбора методов холодильной технологии на основе эколого-энергетической оценки. В работе развивается новый метод эколого-энергетической оценки технологических и технических решений, основанный на концепции уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub> при производстве 1 кВт·ч электроэнергии, затраченной на организацию и осуществление технологии. Предложен новый метод эколого-энергетической экспертизы существующих технологий, с помощью которого установлен наиболее эффективный метод охлаждения и хранения охлажденного мяса, рекомендованы режимы и охлаждающие системы для Палестины и южных регионов Украины. Для проектировщиков разработан алгоритм расчета по новой методике TEWI<sub>T</sub>, которая обоснована теоретически и подтверждена практически в эксперименте.

Ключевые слова: холодильная технология, эколого-энергетическая оценка, анализ, эмиссия, глобальное потепление, термодинамика влажного воздуха, гашение, перехват.

#### SUMMARY



Al-Alami Moh'd Hasan Mah'd. "Development of Method for Ecologo-Energy Evaluation of refrigerated Meat Cold-Storage Technologies". The thesis for the scientific degree Ph.D of Engineering in Speciality 05.18.14- Refrigeration Technology. Odessa State Academy of Refrigeration. Odessa, 1999.

This scientific paper deals with problems of renovation and choice of the optimum technological parameters and methods of refrigeration technologies which can reduce the negative global warming-up influence of refrigeration technologies upon the environment.

The carried out scientific research described in the presented thesis has granted a new method for the ecological evaluation of the technological and technical solutions based on a conception of emission of carbon dioxide while generating the electroenergy 1kWh, spent on the realization and transformation of refrigeration technologies into the equivalent direct and indirect electroenergy expenses.

A new method for the ecologo-energy evaluation of refrigerated meat cooling processes and cold-storage technologies has been developed. It was based on the system method for evaluating the influence which the direct and indirect expenses of electroenergy, spending the amount of construction materials for cooling systems, weight of meat and its quality losses exert upon a complex global warming-up influence being manifested as a harmful emission of carbon dioxide and other gases from the biosphere causing a global warming up.

Refrigeration equipment and installations are a direct source of the emission of harmful substances and energy into the atmosphere the result of which is the environment pollution. Refrigeration industries and enterprises producing and operating refrigeration equipment influence the environment negatively. The modern ecological conditions and ever growing scales of the refrigeration equipment use make it necessary to improve and construct more effective cooling systems in order to increase their positive and reduce their negative influence upon the environment.

The scientific research described in this paper proves that freezing meat to the temperatures almost cryoscopic under conditions of the climate in Palestine permits to prolong 3–4 times a cold storage period of the packed cooled meat and does not spoil its taste quality and marketable value. Such a technology influences the environment much less, that is, reduces the emission of CO<sub>2</sub> which is the main factor indicating the global warming-up effect caused by the technologies of meat cold treatment.

The techno-economical and ecological analyses of the existing modern technologies for a cold-treatment of meat have been carried out and the most effective methods of meat cooling and refrigerated meat cold-storing have been determined and proved. The technological regimes and proper refrigerating systems for realization of their operation under the climate conditions of Palestine and the southern regions of Ukraine have been recommended.

To optimize a choice of the technologies taking into account their global warming-up influence upon the environment some criteria have been suggested. Those criteria can be used as the indicators of audit (expediency) and a basis for management. The algorithm of calculation for designers was elaborated and based on the new TEWI<sub>T</sub> approach, that is theoretically and by practical tests improved.

The said criteria depend upon a number of factors such as: an insulation material width, a temperature level in a chamber, cooling capacities of compressors, the rate of cooling processes, COP, the capital and operation expenses, a type of refrigerant, an amount of its emission into the atmosphere, the meat mass losses due to drying and etc.

The main advantage of the suggested new method for the ecologo-energy evaluation of refrigeration technologies is a simplicity of finding out the reduced values of the electroenergy consumption and amount of (the emitted into the atmosphere) carbon dioxide in kg per a unit of the spent electroenergy, 1 kWh. That's why the only difficulty for making calculations by the suggested method TEWI<sub>T</sub>, is in finding out the direct and indirect expenses consumption of electroenergy according to every item included into a list of the values determining the technology.

The results of the analyses of various refrigeration technologies carried out by the method TEWI<sub>T</sub>, showed that the suggested criteria and coefficients are quite sensitive of the changing conditions for operation of refrigeration equipment and a cold-storage warehouse as a whole.

**Key-words:** refrigerating technology, ecology and energy assessment, analysis, emission, Global Warming, thermodynamics of moist air, slaking, intercept.