

Автореферат  
1089

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

Исеф Антон

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ХОЛОДИЛЬНОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ СВЕЖЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Специальность 05.18.14 - Хранение и холодильная технология  
пищевых продуктов

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

xv 1044

ІНСТІТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
бібліотека

Одесса - 1994

Работа выполнена в Одесской Государственной Академии Холода.

**Научные руководители:** заслуженный деятель науки Украины, академик УАТК, доктор технических наук, профессор Чумак И.Г.; кандидат технических наук, доцент Кочетов В.П.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор Загибалов А.Ф.; кандидат технических наук, старший научный сотрудник Старчевский И.П.

**Ведущее предприятие:** Укрконсервпромкомплекс.

Защита диссертации состоится "14" 10 1994 года в 14 часов на заседании специализированного совета К 068.27.01 В Одесской Государственной Академии Холода.

Адрес: 270100, г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОГАХ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "16" 09 1994 года.

Р.К.Никольшин

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ

**Актуальность.** Исследования последних десятилетий привели к выводу о разрушающем воздействии наращивания объемов сельскохозяйственного производства на окружающую среду без одновременного развития и совершенствования технологии сбережения текущих и резервных запасов продовольствия. Поэтому создание, исследование и обоснование выбора новых малоэнергозатратных технологий хранения сельскохозяйственной продукции – является одной из важнейших задач концепции устойчивого развития мирового сообщества, принятой ООН в 1989 году.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является исследование и сопоставление энергетических и затратных характеристик холодильных технологий хранения свежего растительного сырья в НВС, РГС и МГС и разработка на этой основе проекта норм технологического проектирования холодильников плодосоощехранилищ. Для достижения указанной цели определены и поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ результатов исследований в области сравнительной оценки холодильных технологий, применяемых для сбережения сельскохозяйственной растительной продукции.
2. Разработать метод оценки энергоемкости для проведения сравнительных исследований холодильных технологий хранения.
3. Исследовать энергозатратные и тепломассообменные характеристики комбинированных холодильных технологий хранения свежей растительной продукции.
4. Разработать проект норм технологического проектирования холодильников плодосоощехранилищ.

**Научная новизна работы** состоит в том, что:

- впервые проведены сравнительные комплексные исследования комбинированных холодильных технологий хранения растительного сырья в НВС, МГС и РГС на основе метода тепловой цепи;
- впервые исследована и подтверждена возможность осуществления холодильной технологии хранения в регулируемой газовой среде, создаваемой путем сжигания биогаза, получаемого при анаэробном обрабатывании отходов хранения и производства плодосоощехранилищ.

**Основные научные положения, защищаемые автором:**

1. Сопоставление энергоемкости комбинированных технологий

хранения свежего растительного сырья должно производиться по зависимости

$$N_{\text{э}} = \frac{1}{M} \left( \sum_{i=1}^n N_i + \frac{\xi}{\varepsilon_{\text{г}}} \sum_{j=1}^m \frac{\Delta T_j}{R_j} \right), \quad \frac{\text{кВт}}{\text{т}}$$

учитывающей конструктивные характеристики холодильного контура, параметры технологического регламента, характер упаковки и штабелирования груза, методы подготовки газовой среды, оттайку и другие технологические операции.

2. Эффективность применения комбинированных холодильных технологий хранения свежего растительного сырья зависит от уровня изотропности технологических параметров в грузовом объеме камеры, который может быть представлен в виде

$$\mu_{\text{из}} = \frac{1}{R_{\text{гр.об}} \sum_{l=1}^p \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{\Delta T_T} \ln q_0 e^{kt_T} m_T K_T c_2 c_2 \right)}$$

3. Энергетические затраты на применение холодильной технологии с РГС могут быть сокращены на 20...25% при утилизации биогаза, получаемого в результате анаэробного сбраживания отходов, возникающих в процессе переработки и хранения растительной продукции.

**Основной научный результат.** Основным научным результатом являются предложенные автором методы оценки энергоёмкости и технологической изотропности комбинированных холодильных технологий, позволяющие провести более глубокие и объективные исследования и создать на их основе новые менее энергоёмкие и затратные технологические регламенты.

**Практическая ценность и реализация работы.** Разработан проект технологических норм проектирования холодильников плодоовощехранилищ, применение которых позволит сократить потери свежей растительной продукции и уменьшить энергетические затраты на ее хранение.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на II Международной конференции "Проблемы экологии и ресурсосбережения сельскохозяйственных районов и агропромышленных комплексов" (Одесса, 1992 год).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений. Работа содержит 120 страниц машинописного текста, 20 рисунков, 15 таблиц и приложений. Библиография включает 145 наименований, из которых 62 иностранных.

**Объект исследования и условия проведения опытов.** Объектом исследования являлись холодильные технологии хранения яблок, груш, персиков и винограда в РГС, НБС и МГС. Экспериментальные исследования проводились в Кишиневском сельскохозяйственном институте в лаборатории доктора сельскохозяйственных наук, проф. Р.Я.Ципруш, в лаборатории кафедры холодильных установок ОГАХ, в промышленных условиях на холодильнике и в экспериментальной камере завода "Комплектхолодмаш" в г. Страшени.

## 1. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Наиболее полная научная информация по различным аспектам применения холодильных технологий для хранения свежего растительного сырья содержится в работах С. Valley (1985-1993), В.З.Жадана (1976), G. Lorentzen'a (1975-1994), L. Mattarolo (1985-1990), H.F.Th. Meffert'a (1990), Л.В.Метлицкого (1976), Н.А. Моисеевой (1965-1980), Р.Я.Ципруш (1966-1990), Г.Б. Чижова (1979), И.Г. Чумака (1970-1994), Н.С. Шишкиной (1976-1994) и ряда других авторов. Однако большая часть этих работ посвящена специальным задачам холодильной технологии, которые рассматриваются вне взаимной связи, и постановка комплексных задач энергосбережения при использовании холодильных технологий хранения растительного сырья до настоящего времени неизвестна. Осуществление холодильных технологий хранения сопровождается прямыми энергетическими затратами, связанными с непосредственным воздействием на объект хранения, и сопутствующими энергозатратами на обслуживание здания и оборудования. Данная работа посвящена рассмотрению прямых энергозатрат на поддержание параметров технологического регламента в холодном контуре и на дополнительные внекамерные процессы комбинированных холодильных технологий хранения.

В связи с тем, что отвод теплопритоков, поступающих в холодиль-

ние камеру, компенсируется энергозатратами в рабочем цикле холодильной машины, находим потребляемую электрическую мощность из выражения

$$N_{\text{в}} = \frac{\xi \sum_{i=1}^n Q_i}{\epsilon} \quad (1)$$

где в зависимости от системы охлаждения коэффициент потерь холода при его транспортировке принимается равным  $\xi = 1,07+1,12$ . Так как согласно технологическому регламенту температура воздуха в камерах должна быть равновесной - представляется возможным применить метод тепловой цепи и записать уравнение теплового баланса для источников и стока теплоты в камере в виде

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \frac{\Delta T_1}{R_1} + \frac{\Delta T_2}{R_2} + \frac{\Delta T_3}{R_3} + \dots + \frac{\Delta T_n}{R_n} \quad (2)$$

или

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta T_i}{R_i} = \frac{\Delta T_{b-a}}{R_{b-a}} \quad (3)$$

В результате обзора современных проектных решений установлено, что из-за малой потребной холодопроизводительности в охлаждающих системах плодоовощехранилищ применяются только поршневые вертикальные компрессоры, в связи с чем выражение (1) может быть представлено в форме

$$N_{\text{в}} = \frac{\xi \sum_{i=1}^n \frac{\Delta T_i}{R_i}}{\epsilon_{\text{т}} \eta_i \eta_{\text{мех}} \eta_{\text{вл.дв.}} \eta_{\text{пер.}}} \quad (4)$$

Энергозатраты на дополнительные внекамерные процессы холодильных технологий, осуществляемые в форме сжигания газа, работы электротрелок, ионизаторов, озонаторов, дополнительных насосов, компрессоров и вентиляторов, представим в виде

$$N_{\text{вд}} = \sum_{j=1}^m N_j \quad (5)$$

В результате прямые энергозатраты, отнесенные к одной тонне груза равны

$$N_{\text{вп}} = \frac{1}{M} (N_{\text{в}} + N_{\text{вд}}) = \frac{1}{M} \left[ \frac{Q_0}{T_a} \left( \frac{t_c}{T_R} + b t_0 \right) \eta_{\text{мех}} \eta_{\text{вл.дв.}} \eta_{\text{пер.}} + \sum_{j=1}^m N_j \right] \quad (6)$$

Рассмотрение выражений (1), (3), (4), (6) позволяет провести анализ энергопотребления при использовании различных холодильных технологий хранения в зависимости от климатических условий и теплозащитных характеристик зданий, выбранной охлаждающей среды и паспортных параметров компрессорного оборудования, параметров принятого технологического регламента и свойств продукции.

## 2. ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Развитие холодильной техники и проектных решений холодильников для хранения свежего растительного сырья направлено на создание унифицированного ряда однотипных систем, пригодных для всех комбинированных технологий; поэтому при теоретическом анализе и сопоставлении технологий комплекс термодинамических коэффициентов в выражениях (4), (6) может быть рассчитан для конкретного случая и принят в качестве коэффициента энергетической компенсации теплопритоков в камере

$$f_c = \frac{\xi}{\epsilon_{\text{т}} \eta_i \eta_{\text{мех}} \eta_{\text{вл.дв.}} \eta_{\text{пер.}}} \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет оценить влияние типа охлаждающей системы, используемого холодильного агента, температур узловых точек цикла, характеристик компрессоров их типа и степени износа на уровень энергетической компенсации теплопритоков  $f_c$ . На рис 1 представлен диапазон изменения  $f_c$  в зависимости от указанных параметров при температуре наружного воздуха  $t_0 = 25^\circ\text{C}$  и непосредственном кипении R 717, R 22, R 134a и использовании вертикальных поршневых компрессоров.

Очевидно, что в технологическом температурном диапазоне хранения среднеширотных плодов и овощей общий диапазон изменения  $f_c$  составляет (12,5+20,5)%, в технологическом температурном диапазоне

хранения тропических плодов и овощей - (9+10)%.

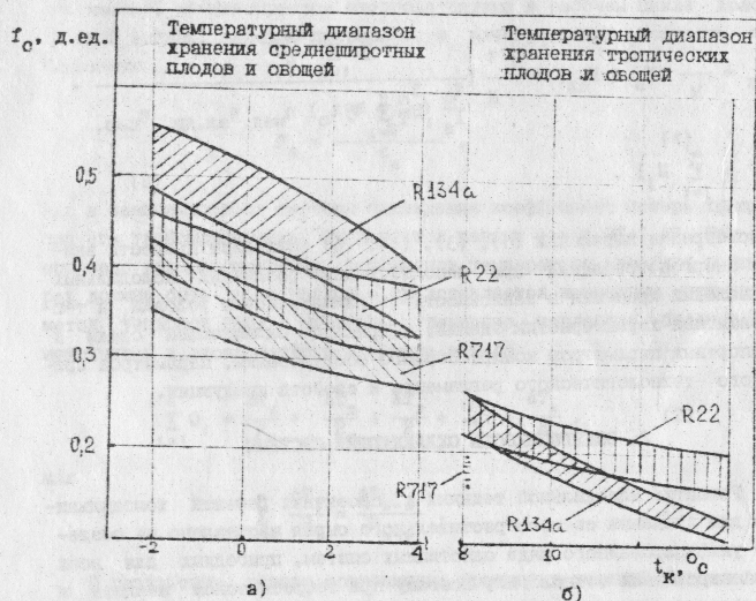


Рис. 1. Изменение уровня компенсации теплопритоков при  $t_c = 25^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 70\%$   
 а) температурный диапазон хранения среднеширотных плодов и овощей;  
 б) температурный диапазон хранения тропических плодов и овощей.

При этом в первом технологическом температурном диапазоне наиболее выгодным оказывается применение R 717 и R 22, а во втором - R 22 и R 134a. В работе сделан вывод о целесообразности исследования влияния технологических параметров на энергопотребление при заданном уровне  $f_c$ .

### 3. ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ЦЕПЕЙ КОМБИНИРОВАННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для рассмотрения тепловых цепей в стационарном режиме длительного хранения в данной работе в числе слагаемых баланса Остертага оставлены теплопритоки через ограждения  $Q_1$ , теплопритоки от свежего растительного сырья  $Q_2$ , и теплопритоки  $Q_3$ , возникающие при поддержании требуемого состава газовой среды в камере в

результате вентилирования наружным воздухом или применения газогенератора. Анализ тепловых схем с НВС, РГС и МГС, приведенный в работе, показал, что при обеспечении нормативных теплозащитных характеристик ограждений влияние выбора холодильных технологий на сопротивление тепловой цепи "наружный воздух - ограждения - воздух камеры" оказывается незначительным и может не рассматриваться. Тепловая схема "груз - воздух камеры" для условий технологии хранения в НВС, РГС и МГС представлены на рис. 2 а,б. Очевидно, что в камерах с РГС и НВС механизм теплообмена практически одинаков, в то время как в камерах с МГС эффективный и "влажный" тепловые потоки, подходя от груза к оболочке и преодолевая ее термическое сопротивление, трансформируются и уходят от оболочки "сухим" путем. Выражение для полных тепловых сопротивлений указанных технологий представлены в виде

$$R_{\text{МГС}} = \frac{R_{\text{ар}} R_{\text{ав}} R_{\text{ас}}}{R_{\text{ав}} R_{\text{ас}} + R_{\text{ар}} R_{\text{ас}} + R_{\text{ар}} R_{\text{ав}}} + R_{\lambda}^{\text{cov}} + R_{\text{ас}}^{\text{cov}}, \quad (8)$$

$$R_{\text{РГС(НВС)}} = \frac{R_{\text{ав}} R_{\text{ас}}}{R_{\text{ав}} + R_{\text{ас}}}, \quad (9)$$

где отдельные тепловые сопротивления могут быть получены на основе известных уравнений конвективного теплообмена, дыхания и испарения, и в виду громоздкости здесь не приводятся.

Как показывают выполненные расчеты и проведенные исследования наибольшие тепло и влаговыделения наблюдаются во всем температурном диапазоне в случае применения технологии с НВС, а наименьшие - в случае применения МГС и РГС с субнормальной средой I, рис. 3 а,б.

Тепловая цепь системы для поддержания состава газовой среды в холодильной камере, представлена на рис. 2 в и ее тепловое сопротивление рассматривается в виде

$$R_{\text{вент}} = \frac{1 + n}{G n} \frac{(t_H - t_K)}{(i_H - i_K)} \quad (10)$$

Как видно из рис. 4, зависимость (10) позволяет оценить изменение теплового сопротивления при переходе от одной холодильной техно-

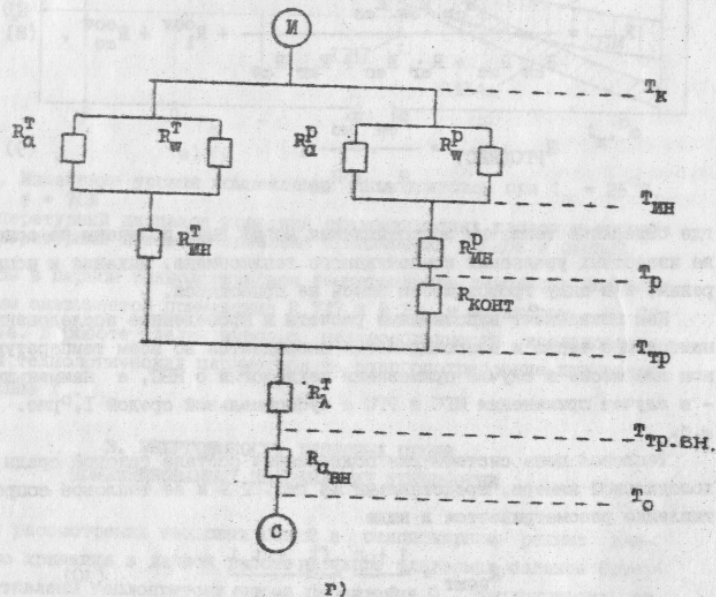
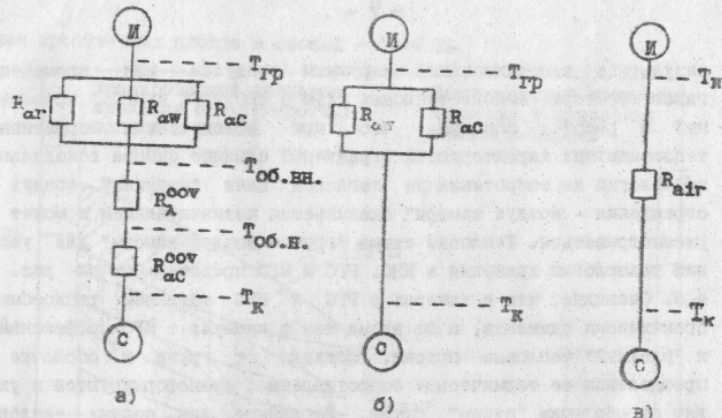


Рис. 2. Тепловые схемы "груз - воздух камеры"  
 а), б) - "воздух камеры - хладагент"; в), г) - "наружный воздух - воздух камеры"

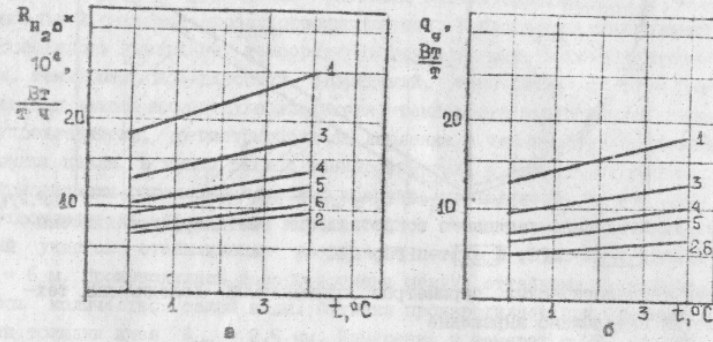


Рис. 3. Выделение влаги (а) и теплоты (б) в процессе дыхания яблок сорта Джонатан  
 1 - НВС; 2 - МГС; 3 - РГС (LVH); 4 - РГС (IHN); 5 - РГС (IIICH); 6 - РГС (ICH)

логии к другой в связи с изменением расхода и теплофизических свойств газовой среды. Тепловая цепь, соответствующая реальной последовательности процессов передачи теплоты от воздуха камеры (источник) к хладагенту в трубах воздухоохлаждителя (сток) изображена на рис. 2 г, а ее полное тепловое сопротивление представлено в виде

$$R_{D-a} = \frac{A \cdot B}{(R_a^T + R_w^T) A + (R_a^D + R_w^D) B} + R_l^T + R_{ov.vh.}^T, \quad (11)$$

$$A = [R_a^D R_w^D + (R_a^D + R_w^D)(R_{gh}^D + R_{kont})] l,$$

$$B = [R_a^T R_w^T + (R_a^T + R_w^T) R_{gh}^T] l.$$

Выполненный анализ зависимости (11) для условий работы с НВС, МГС и РГС показал, что в результате более высокого влагосодержания воздуха в камерах с НВС и РГС дней нарастает быстрее (рис. 5).

Совместное рассмотрение (6)-(11) позволило сделать вывод о наименьшей энергоёмкости холодильной технологии с МГС. В процессе проведения исследований было установлено, что основным условием эффективного использования комбинированных холодильных технологий является достижение изотропности параметров технологического регламента во всем грузовом объеме камер. Для оценки уровня изотроп-

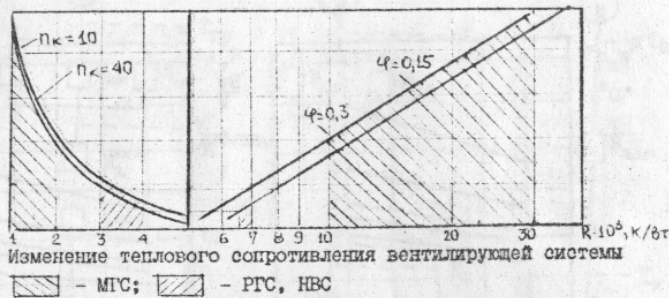


Рис. 4. Изменение теплового сопротивления вентилирующей системы  
 ▨ - МГС; ▩ - РГС, НВС

ности технологических параметров применяемых холодильных технологий предложено выражение

$$\mu_{из} = \frac{1}{R_{гр.об} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{1}{q_0} \cdot e^{kt} \cdot m \cdot K_{CO_2} \cdot a_2 \right)} \quad (13)$$

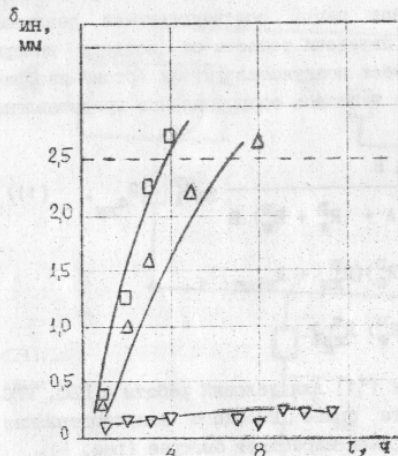


Рис. 5. Изменение толщины инея  
 ▽ - МГС; □ - РГС; △ - НВС

При этом установлено, что при рекомендуемых системах воздухораспределения и скоростях движения воздуха у поверхности штабеля (0,15 + 0,3 м/с), уровень изотропности оказывается низким, что приводит к образованию недопустимо высоких разностей температур в грузовом объеме, низким, что приводит к увеличению потерь груза от естественной убыли и гнили, а в результате к увеличению энергос затрат на производство одной тонны товарной продукции.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Исследования проводились при хранении плодов и ягод в нормальной воздушной среде, МГС и РГС в холодильных камерах вместе-

мостью 150 тн, оборудованных навесными воздухоохладителями с бесканальной системой воздухораспределения. В процессе исследований проводилось измерение температур воздуха и груза в объеме штабеля, температур поверхностей ограждений, температур воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя, температур поверхностей воздухоохладителя, регистрировалось давление и температура в узловых точках цикла, а также расход электроэнергии в процессе работы. Периодически определялся расход воздуха, проходящего через воздухоохладитель, для чего использовался специально установленный участок стабилизации воздушного потока  $D = 300$  мм и длиной  $l = 6$  м. Производились замеры времени между оттайками и измерялось количество талой воды. Оттайка производилась при достижении толщины инея  $\delta_{ин} = 2,5$  мм. Измерения в камерах с НВС и МГС осуществлялись непосредственно. Измерения в камере с РГС проводились дистанционно. Измерения температур осуществлялось лабораторными термометрами типа ТЛ-4, а также медно-константановыми термопарами с помощью цифрового вольтметра Ш4310. Измерения скорости и расхода воздуха осуществлялось крыльчатый анемометром типа У-5, а также с помощью дифференциальной трубки Пито и микроманометра МН-165. Измерения скорости в воздуховоде камеры с РГС осуществлялось дистанционно с помощью электроанемометра ЭА-5.

Анализ газовой среды на содержание  $O_2$  и  $CO_2$  осуществлялся с помощью газоанализаторов МН5121 и ОА2209М. Контрольные партии плодов, закладывавшиеся на хранение, избирались в соответствии со стандартами на товарную продукцию съемной зрелости первого и высшего сорта. Для хранения плодов в условиях МГС применялись пакеты, изготовленные из полиэтиленовой пленки высокого давления, низкой плотности, толщиной 50 мк, с избирательной проницаемостью для  $CO_2$  и  $O_2$ . Проведенные измерения показали, что газопроницаемость пленки за 24 часа при температуре  $25^\circ C$  и относительной влажности 75% составляет для  $O_2$  -  $8900 \text{ см}^3/\text{м}^2$ , а для  $CO_2$  -  $27000 \text{ см}^3/\text{м}^2$ . Во всех случаях порядок укладки плодов, компоновка грузовых пакетов и штабеля оставались одинаковыми с целью создания сопоставимых условий теплообмена. В результате проведенных исследований установлено, что реальная изотропность технологических параметров холодильных технологий в грузовом объеме зависит не только от условий теплообмена, но и от вида и свойств груза, табл. 1.

Табл. 1. Оценка технологической изотропности

Наименование плодов	Вид холодильной технологии хранения						
		СНГ I	СНГ III	НГ II	НГ IV	МГС	НВС
	O <sub>2</sub>	0,03	0,03	0,11	0,16	0,04+0,1	0,21
	CO <sub>2</sub>	0,05	0	0,10	0,9	0,03+0,06	0
t	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	
w	0,3/0,5 м/с	0,3/0,5 м/с	0,3/0,5 м/с	0,3/0,5 м/с	0,3/0,5 м/с	0,3/0,5 м/с	
Персики Эльберт поздний	4,88 14,6	4,44 13,3	3,25 9,8	1,37 8,06	2,05 5,71	5,15 15,4	
Яблоки Ренет Семиренко	10,18 30,5	9,25 27,7	6,79 20,4	5,98 16,8	4,28 12,9	10,7 32,2	
Груши Бере Боск	17,4 52	15,8 47	11,6 35	9,5 29	7,3 22	18,3 55	

Очевидно так же, что повышение скорости движения воздуха у наружной поверхности штабеля в 1,7 раза способствовало повышению изотропности на 60...65%. Наблюдения за потерями массы, уровнем заболеваемости плодов и сохранением качества показали, что они в значительной степени зависят от уровня изотропности.

Исследования, проведенные в промышленных условиях показали, что в камерах с НВС и РГС при идентичной загрузке и нулевых температурах устанавливается относительная влажность воздуха в пределах, соответственно, (75+80)% и (90+95)%. При этом толщина инея через 3-4 часа после пуска оттаивших воздухоохладителей составляла 2-3 мм, а начальное значение коэффициента теплопередачи снижалось в 1,7+2,2 раза и потребляемая мощность вентиляторов увеличивалась на 18-25%. Эти результаты хорошо совпадают с данными В.И.Бондарева, Э.Ф.Бордо и Б.К.Явнеля, полученными для НВС. Наиболее короткие периоды для проведения оттаек наблюдались в системах с РГС, что может быть объяснено периодической подачей в камеру газовой смеси насыщенной водяными парами. При исследованиях камер с МГС автором установлено, что через 30 суток после окончания загрузки относительная влажность воздуха достигает 55+60%, а к концу второго месяца хранения влажность стабилизируется на уровне 60%. При этом было отмечено, что толщина инея 2,5 мм достигалась в течении 70+80 часов два раза после окончания загрузки и подготовки камеры к хранению, а в дальнейшем наблюдалось только периодическое появление налета инея толщиной  $\delta < 0,5$  и оттайка не требовалась. В то же время в системах с

НВС и РГС после первых полутора часов работы наблюдалось снижение коэффициента теплопередачи от (18+20) Вт/(м<sup>2</sup>·К) до (9+12) Вт/(м<sup>2</sup>·К). Расчеты суммарной мощности холодильного компрессора, вентилятора и оттаивающего устройства, затрачиваемых на работу воздухоохладителей, выполненные по методике А.А.Гоголина на основе результатов измерений автора в МГС, НВС и РГС, показали, что затраты энергии в НВС и РГС превышали затраты в МГС, соответственно, на 45 и 27%. В связи с тем, что по данным Mattarolo на выращивание плодосовощной продукции в развитых странах затрачивается 10-30 кДж/кг энергии, в работе проведено исследование потерь продукции при использовании холодильных технологий с МГС, РГС и НВС, что позволяет оценить общие энергетические затраты и потери в случае осуществления полного цикла производства плодосовощной продукции в хозяйстве.

В результате было установлено, что при хранении яблок сорта Уэлси в МГС естественная убыль за тридцать дней составила 0,21% против 1,7% в НВС, а потери в МГС за 60 дней составили 0,61% против 6,75% в НВС. При этом выход стандартной продукции после 6 месяцев хранения в МГС составил 86,3%, в НВС - 81,6%. В процессе проведения исследований в промышленных условиях с использованием РГС на холодильнике в Страшенах (Молдова) потери яблок Ренет Семиренко при использовании субнормальных газовых сред составили (1,86+2,19)% за 4 месяца, в то время как потери контрольной партии в НВС составили 3,54%.

Исследования условий хранения яблок Ренет Семиренко, Джонатан и груш Кюре, Бере Боск на протяжении 6 месяцев в условиях МГС показали, что потери от естественной убыли при этом не превысили у яблок 1% и у груш 0,45% в то время как у контрольных партий в НВС они находились в пределах, соответственно (3,9+4,5)% и (3,28+5,0)%.

При определении эффективности хранения была определена стоимость дополнительно сохраненной продукции, рассчитанная с учетом товарного качества яблок после хранения, сортности, торговой скидки, цен во время снятия плодов с хранения, и других факторов. При этом установлено, что в результате хранения 1 тонны яблок в условиях РГС стоимость 1 т яблок после хранения с учетом товарного выхода составила в долларах 899,98 по сравнению со стоимостью контрольной партии после хранения в НВС, которая составила 469,36 доллара. При этом дополнительная стоимость

код, с учетом дополнительных затрат на газовое хранение составил 284,72 доллара на тонну или 1,96 доллара на 1 доллар затрат.

### 5. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ХРАНЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ НА ОБРАЗОВАНИЕ РГС

Так как дополнительные затраты при хранении в РГС складываются в основном из стоимости газа (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) и его транспортировки, автором была рассмотрена возможность анаэробного ображивания отходов хранения и переработки плодоовощной продукции для получения биогаза и сжигания его в газогенераторе с целью получения субнормальных и нормальных газовых сред, а также теплоты для отапливания в зимнее время и проведения оттайки воздухоохладителей. Расчеты были выполнены на основе сопоставления уравнений интенсивности дыхания плодов и уравнений баланса газогенераторов и биогазогенераторов

$$v = v_0 (1 + b^n t) (0,365 + 277 C_{O_2}^T - 0,833 C_{CO_2}^T)$$

$$v_{гг} = \frac{V_k a}{a, k} \ln \left( \frac{C_{CO_2}^H - C_{CO_2}^T}{C_{CO_2}^H - C_{CO_2}^T} \right) \quad (14)$$

$$v_{от} = \frac{E_0 E_0}{T} \left( \frac{1}{1 + K \left[ \frac{1}{\mu_m (b^N N + 1)} - 1 \right]} \right)$$

В связи с тем, что хранение в РГС применяется в основном для prolongации сроков ее хранения, на проектируемых и действующих холодильниках емкость камер с РГС составляет не больше 25% от общей емкости. Поэтому потребность в газовых смесях относительно невелика и может быть удовлетворена за счет утилизации отходов, представляющих собой нетоварную продукцию или отходы переработки. Установлено, что в проточных газогенераторах, используемых при образовании РГС, для получения 10 м<sup>3</sup> очищенной газовой среды требуется сжечь 1 м<sup>3</sup> метана. В рециркуляционных генераторах при сжигании 1 м<sup>3</sup> метана можно получить 60-70 м<sup>3</sup> газовой среды. Выполненные расчеты свидетельствуют о возможности получения биогаза с содержанием до 70% метана при анаэробном ображивании одной тонны плодоовощных отходов.

В результате выполненного анализа автор пришел к выводу в

достаточности утилизации 30% отходов для обеспечения холодильных камер требуемой газовой смеси.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Метод тепловых цепей позволяет провести наиболее углубленный и взаимосвязанный анализ комбинированных холодильных технологий с учетом всех особенностей, включая биофизические и теплофизические свойства плодоовощной продукции, тип упаковки, характер штабелирования, условия воздухораспределения и другие технологические параметры.

2. Наименее энергоемкой из рассмотренных и исследованных технологий является технология хранения в модифицированной газовой среде.

3. Применение для анализа холодильных технологий понятия технологической изотропности грузового пространства приводит к выводу о нецелесообразности применения идентичных методов упаковки, формирования грузовых пакетов, размещения штабелей в камерах одинакового характера и интенсивности воздухораспределения для различных видов плодоовощной продукции, и необходимости проведения дополнительных исследований с целью разработки более специализированных технологических средств и параметров для отдельных видов растительных грузов.

4. Результаты промышленных испытаний показали, что увеличение уровня технологической изотропности грузового объема камер путем разбивки крупных штабелей на более мелкие в плане и увеличения высоты загрузки камер, а также одновременного улучшения условий воздухораспределения, приводит к уменьшению потерь от гнили, усушки и физиологических заболеваний.

5. Применение комбинированной холодильной технологии с МГС позволяет повысить влажность воздуха непосредственно в грузовом объеме, исключает миграцию влаги внутри штабеля и последующее ее выпадение в виде инея на поверхности воздухоохладителей, что ограничивает величину естественной убыли физиологическим "дыханием", предотвращает образование зон конденсации и развития плесневых грибов в массе плодов, и сокращает энергетические затраты на поддержание температурного режима и проведение оттайки.

6. Осуществление комбинированной холодильной технологии с РГС на основе биогазовой утилизации отходов хранения и переработки может способствовать сокращению энергоемкости хранения на 15+20%.

#### Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Чумак И.Г., Минкус Б.А., Юсеф Антон. Энергоснабжение консервных заводов переработки растительного сырья. - Тез. докл. II междунар. конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения сельскохозяйственных районов и агропромышленных комплексов". - Одесса, 1992.
2. Юсеф Антон. Комплексное использование сырья консервных заводов. - Тез. докл. II междунар. конф. - Одесса, 1992.
3. Чумак И.Г., Минкус Б.А., Кочетов В.П., Морозик Т.В., Юсеф Антон. Энергосбережение при совместном производстве теплоты, холода и электричества. // Судовая энергетика. - Одесса, 1993. - N 3. - С. 58-61.
4. Юсеф Антон, Кочетов В.П., Чумак И.Г., Минкус Б.А. Энергоснабжение консервных заводов и переработка растительного сырья. // Холод. техника и технология. - Киев, 1994. - Вып. 56.

xv1044  
Институт холода  
ОНАХТ  
Библиотека

С. 70-73.

5. Кочетов В.П., Юсеф Антон, Чумак И.Г. Анализ условий теплопереноса в камерах с комбинированной холодильной технологией // Хол. техника и технология. - Киев, 1994.

6. Кочетов В.П., Юсеф Антон, Чумак И.Г. Исследование процессов в биогенераторах и энергопотребляющих устройствах для сельскохозяйственных фирм // Хол. техника и технология. - Киев, 1994.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$a$  - коэффициент, учитывающий объем, занимаемый грузом в камере, д.ед.;  $b'$ ,  $b''$ ,  $b_0$  - коэффициенты, соответственно, скорости разложения микроорганизмов, скорости дыхания и индикаторный,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{CO}_2}^0$  - требуемая концентрация  $\text{CO}_2$ , %;  $C_{\text{CO}_2}^{\text{H}}$ ,  $C_{\text{CO}_2}^{\text{T}}$ ,  $C_{\text{CO}_2}^{\text{H}}$  - концентрации, соответственно, начальная, требуемая и после газогенератора, %;  $\epsilon$  - холодильный коэффициент, д.ед;  $K$  - константа пропорциональности процесса окисления, д.ед;  $k$  - коэффициент скорости дыхания,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $i_a$  - удельная теоретическая работа компрессора, кДж/кг;  $M$  - масса растительного сырья в камере, т;  $\mu_T$  - максимальная удельная скорость роста микроорганизмов,  $1/\text{сут}$ ;  $p$  - доля приточного воздуха в рециркулирующем, д.ед;  $n_{\text{пр}}$ ,  $n_k$  - кратность циркуляции, соответственно, приточного воздуха,  $V_k/\text{сутки}$ , и камерного воздуха,  $V_k/\text{час}$ ;  $v_0$  - концентрация поступающих отходов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\eta_1$ ,  $\eta_{\text{мех}}$ ,  $\eta_{\text{эл.дв.}}$ ,  $\eta_{\text{пер}}$  - КПД, соответственно, индикаторный, механический, электродвигателя и передачи, д.ед;  $q_0$  - удельная массовая холодопроизводительность, кДж/кг;  $q_{0,\text{г}}$  - теплота дыхания растительного сырья, Вт/т;  $R$  - тепловое сопротивление,  $\text{K}/\text{Вт}$ ;  $V_k$  - внутренний объем камеры,  $\text{м}^3$ ;  $u$ ,  $u_0$  - интенсивность дыхания плодов при температуре хранения и  $0^\circ\text{C}$ ,  $\text{Вт}/\text{т}$ ;  $V$  - производительность генератора по газу,  $\text{м}^3/\text{час}$ ; НВС - нормальная воздушная среда; РГС, МГС - регулируемая и модифицированная газовые среды. Индексы:  $\alpha\tau$  - лучистый;  $\alpha\kappa$  - конвективный;  $\alpha\omega$  - "влажный";  $\alpha\omega\upsilon$  - поверхность;  $\lambda$  - теплопроводность; об.вн. - внутренняя поверхность оболочки; об.н. - наружная поверхность оболочки; к - камера; гр - груз; ин - иной; конт. - контактный; р - ребро; тр - труба; вн. - внутренний; н. - наружный; гр.об. - грузовой объем; г.г. - газогенератор; б.г. - биогенератор;  $i$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $r$  - порядковые значения члена;  $b$ - $a$  - воздух-агент.

*Юсеф.*

