

Авторефер.  
594

Игорь Васильевич Бушта

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

БУШТА Игорь Васильевич

УДК 621.56/57

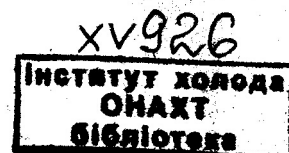
ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
КАМЕРЫ НА УСУШКУ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

Специальность 05.04.03 - Гидравлические машины, машины  
и аппараты холодильной и криогенной техники

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Одесса - 1984



в общем случае искажает физическую картину протекания процессов теплообмена у поверхности продуктов. Температура поверхности продукта может быть выше либо ниже температуры воздуха по влажному термометру.

#### Основные научные результаты, полученные в работе

1. Установлено, что температура поверхности продукта зависит от типа охлаждающей системы и условий эксплуатации камер хранения.
2. Разработан метод расчета усушки мороженого мяса, учитывающий, что температура поверхности устанавливается в результате влияния всех тепловых потоков на продукт.
3. Экспериментально получено, что в камерах хранения одноэтажных холодильников, оборудованных панельной системой охлаждения, локальная усушка продуктов по высоте штабеля отличается значительной неравномерностью. Наибольшие потери наблюдаются вблизи пола, а наименьшие - в верхней части штабеля.
4. Установлена зависимость усушки от типа охлаждающей системы при переменном заполнении камер хранения продуктом.
5. Увеличение скорости воздуха у поверхности продукта в три раза приводит к росту усушки только на 20...25% в камерах хранения, полностью загруженных продуктом.
6. Оптимальная температура воздуха камер хранения мороженых продуктов, соответствующая минимуму приведенных затрат, зависит от типа охлаждающей системы камеры и условий эксплуатации.

#### Практическая ценность

Результаты диссертационной работы использованы институтом Гипрохолод при проектировании холодильников с панельной и воздушной системами охлаждения.

Технический совет Казиминиясомолпром (г.Алма-Ата, сентябрь 1981 г) принял решение об использовании методики по определению оптимальных режимов работы камер хранения на предприятиях отрасли.

#### Апробация диссертационной работы

Основные результаты работы были изложены в докладах на I Национальной научно-технической конференции "Холодильная технология, холодильники и холодильные сооружения" (г.Пловдив, НРБ, 1974 г), Всесоюзной конференции "Совершенствование процессов, машин и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха" (г.Ташкент, 1977 г), III Всесоюзной научно-технической конференции по холо-

дильному машиностроению (г.Одесса, 1982 г), Всесоюзном семинаре "Использование искусственного холода для сокращения потерь пищевых продуктов - важное средство в решении Продовольственной программы страны" (г.Калининград, 1983 г), научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИХП (г.Одесса, 1979-1983 гг).

#### Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и основных выводов. Работа содержит 101 страницу машинописного текста, 23 рисунка и 11 таблиц. Список литературы включает 121 наименование.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Сложность процессов теплообмена в камерах хранения мороженых грузов обусловлена многообразием хранимых продуктов, видами их упаковки и укладки, применением различных типов охлаждающих систем и мероприятий по уменьшению естественных потерь, колебаниями температуры и относительной влажности воздуха, особенностями строительной и изоляционной конструкции холодильников, качеством эксплуатации камер и пр.

Обзор и анализ литературных данных по технике и технологии хранения пищевых продуктов показал, что все авторы, рассматривая процессы теплообмена в стационарных условиях, принимают температуру поверхности продукта равной либо близкой температуре влажного термометра. Это допущение справедливо только при равенстве лучистых тепловых потоков, подводимых к продукту от теплых ограждающих конструкций и отводимых охлаждающими приборами от продукта. Во всех остальных случаях результирующая составляющая лучистого теплообмена приводит к отклонению  $t_n$  от температуры влажного термометра. Мнение некоторых исследователей, что лучистый теплообмен влияет только на периферийные части штабеля, не подтверждено теорией либо экспериментом. Для условий работы камер хранения мороженых грузов коэффициент теплоотдачи (продукт - воздух) равен 2...3 Вт/(м<sup>2</sup>.К), при этом число  $Bi$  лежит в пределах 0,1...0,2. Поэтому значительная часть тепла, воспринятого наружной поверхностью штабеля, переносится в его глубинные слои. Дополнительных уточнений требуют вопросы влияния на усушку продукта температурного напора  $t_n - t_o$ , осадения инея на поверхности приборов охлаждения, степени заполнения камеры продуктом, а также нарушение стабильности температурного режима камеры.

Анализ литературных источников позволил сформулировать задачи диссертационной работы и определить направление аналитических исследований.

В реальных условиях эксплуатации холодильников постоянно наблюдаются колебания температуры воздуха камер, а следовательно, нагревание и охлаждение хранимого продукта. При этом температура в центре продукта по отношению к температуре его поверхности изменяется с некоторым запаздыванием. Градиент температур по глубине продукта обуславливает возникновение теплового потока, названного нами внутренним. Его величину можно определить из выражения

$$Q_{вн} = Gc[t_{ин} - t_n + K_t(t_n - t_n)] \quad (I)$$

где  $K_t = 1 + 0,35 Bi$ .

Формула (I) получена путем моделирования мясных полутоп бесконечной однородной пластиной и справедлива при  $Fo \geq 0,3$  и  $Bi \leq 2$ . При расчете внутреннего теплового потока весь период колебаний разбивается на такие отрезки времени, в течение которых теплофизические параметры среды и условия теплоотдачи на поверхности продукта можно принять постоянными. В уравнение (I) входит температура поверхности продукта, которая устанавливается в результате взаимодействия всех тепловых потоков, поступающих к хранимому грузу. Принципиальная схема тепловых потоков в камере представлена на рис. I. Тепловой баланс продукта описывается системой уравнений

$$\begin{cases} Q_n + Q_b + Q_{лт} + Q_{лх} + Q_{вн} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_n = -\alpha_n F_n (t_n - t_n) \quad (3)$$

$$Q_b = \alpha_n F_n (d_n'' - \varphi d_n'') \frac{z_n}{c_n \delta} \quad (4)$$

$$Q_{лт} = -\epsilon_t \epsilon_n \psi_t C_o (T_t^4 - T_n^4) F_n \quad (5)$$

$$Q_{лх} = \epsilon_x \epsilon_n \psi_x C_o (T_n^4 - T_x^4) F_n \quad (6)$$

$$Q_{вн} = -\frac{Gc_w}{\tau} (t_{ин} - t_n + K_t \Delta t) \quad (7)$$

В результате решения системы уравнений (2) - (7) получена зависимость для определения температуры поверхности продукта

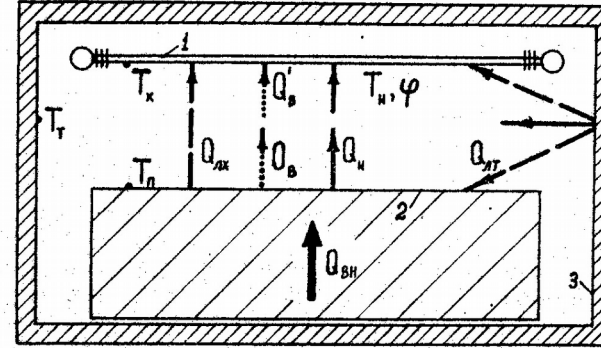


Рис. I. Принципиальная схема тепловых потоков в камере  
1 - прибор охлаждения; 2 - продукт;  
3 - внутренняя поверхность ограждения камеры.

$$t_n = t_n - \frac{A_o}{A_t} \quad (8)$$

где

$$A_t = 4RT_n^3 + 3,72 \cdot 10^{-4} (t_n + 41)^2 \frac{N}{\delta} + \alpha_n + \Pi K_t;$$

$$A_o = RT_n^4 - A_t T_t^4 - A_x T_x^4 + 2,84(d_n'' - d_n'') \frac{N}{\delta} - \Pi(t_{ин} - t_n);$$

$$R = A_t + A_x; \quad A_t = \epsilon_t \epsilon_n \psi_t C_o; \quad A_x = \epsilon_x \epsilon_n \psi_x C_o;$$

$$N = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_b f}}; \quad \Pi = \frac{Gc_w}{F_n \tau}$$

Если известна температура поверхности продукта, то равновесную относительную влажность воздуха камеры можно определить из выражения

$$\varphi = \frac{\alpha_n d_n'' + \alpha_b f d_b''}{d_n'' (\alpha_n + \alpha_b f)} \quad (9)$$

а усушку продукта - из уравнения

$$\Delta G = \frac{\alpha_n'' - \alpha_s''}{c_n \beta} \cdot \frac{F_n}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_s f}}, \quad (10)$$

где

$$\beta = \frac{\beta_{нд}}{\beta_n}; \quad f = \frac{\tau_s c_n F_s \beta}{\tau_n c_s F_n} \approx \beta \frac{F_s}{F_n}.$$

Для проверки предложенного метода были проведены исследования температурно-влажностных режимов и усушки продуктов в промышленных условиях. В качестве объекта испытания были выбраны камеры хранения мороженых грузов одноэтажных холодильников. Камера № 2 Волховского холодильника, емкостью 500 т, имеет размеры 18 x 18 x 6 м, пол оборудован устройством для электрообогрева. Камера № 8 Дзержинского холодильника, емкостью 482 т, имеет размеры 30 x 12 x 4,8 м, пол выполнен без обогрева. Вдоль наружных стен, от нижней образующей батареи до пола, установлен брезентовый экран.

В теплом контуре холодильника находился контрольно-измерительный стенд, который состоял из медь-константановых термопар, потенциометра Р-306, гальванометра М П7/5, нормального элемента 2 класса и обеспечивал точность измерения температур  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Тепло, поступающее в объем камеры, определяли опытно-расчетным методом, а усушку мяса - путем взвешивания опытной партии до и после хранения.

В камеру № 2 было загружено 512167 кг говядины I категории, которая хранилась с II мая по 10 декабря. В камере № 8 500409 кг мяса хранилось с II февраля по 22 декабря. Средняя за период хранения температура воздуха камеры № 2 равна  $-18,5^\circ\text{C}$ , камеры № 8 - минус  $19,7^\circ\text{C}$ . Температурный градиент по высоте камер в период хранения составлял  $1...1,5^\circ\text{C}$  и увеличивался до  $3...4^\circ\text{C}$  при загрузке и выгрузке камеры.

Эксперимент показал, что панельная система охлаждения позволяет локализовать около 30...40% общего теплового потока до поступления его в грузовой объем камеры. Наибольшую долю тепла, поступающего в грузовой объем камеры, составляет тепловой поток от пола (27...55%).

По результатам взвешивания контрольных полутуш установлено, что убыль мяса зависит от места расположения его в объеме штабеля. Усушка образцов, расположенных в верхней части штабеля, облучаемой поточной батареей, оказалась в 8...10 раз меньше, чем у образцов, расположенных вблизи пола.

Усушка мяса по всей камере определялась взвешиванием, а также

расчетным путем. Результаты приведены в таблице I.

Таблица I

Объект исследования	Усушка мяса, кг		Погрешность расчета, %
	опытная	расчетная	
Камера № 2 (г. Волхов)	3202,5	2869,5	10,4
Камера № 8 (г. Дзержинск)	2620,5	2773,9	5,9

Хорошая согласованность опытных и расчетных результатов определения усушки свидетельствует о том, что предлагаемый метод расчета усушки правильно описывает процессы тепломассообмена в камерах хранения мороженых грузов и может быть использован для расчета характеристик охлаждающих систем и анализа условий эксплуатации.

Условия хранения штабеля мяса исследовались также аналитически для однотипных камер емкостью по 500 т, оборудованных оребренными батареями, воздушной и панельной системами охлаждения. В результате были определены температуры поверхности мяса, относительная влажность и температура воздуха по влажному термометру, а также составляющие потоки теплового баланса. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Система охлаждения	Расчетные величины								
	$t_k$ °C	$t_n$ °C	$\varphi$	$t_m$ °C	$q_k$ Вт	$q_{лт}$ Вт	$q_{лк}$ Вт	$\Delta q_{л}$ Вт	$q_b$ Вт
Панельная	-20	-20,08	0,93	-20,06	-637	-4008	3929	-79	719
Оребренные батареи	-20	-19,89	0,89	-20,07	930	-4463	2403	-2060	1140
Воздушная	-20	-19,83	0,91	-20,05	3132	-5176	352	-4824	1727

ПРИМЕЧАНИЕ: Тепловые потоки, направленные от продукта, приняты положительными.

Из таблицы 2 видно, что в тепловом балансе штабеля значительную долю составляет результирующий лучистый тепловой поток  $\Delta q_n = q_{лт} - q_{лк}$ . Чем больше его величина, тем выше температура продукта и  $q_b$ . Температура поверхности продукта ниже температуры воздуха камеры только при панельной системе охлаждения. Уровень  $t_n$  зависит от термического сопротивления инея на приборах охлаждения, величины теплового потока, поступающего через наружные ограждения, соотношения

площадей "теплых" и "холодных" поверхностей, облучающих штабель, поэтому он изменяется в реальных условиях эксплуатируемых камер. От величины  $t_n$  зависит направление конвективного теплового потока, который может не только подводить, но и отводить тепло от продукта. Существующее допущение  $t_n = t_m$  предполагает, что конвективный поток  $Q_n$  всегда подводит тепло к продукту.

Приведенные результаты расчетов характерны для принятых условий. Изменение режимов работы камер повлияют на температуру продукта, относительную влажность воздуха и баланс тепловых потоков штабеля. Однако соотношение тепловых потоков всегда остается характерным для данной системы охлаждения и позволяет оценивать ее преимущества и недостатки.

Влияние на усушку степени заполнения продуктом камер, оборудованных воздухоохладителями, оребренными батареями и панельной системой охлаждения приведено на рис.2. Как видно из рисунка, с уменьшением заполнения камеры продуктом абсолютная усушка уменьшается. При этом наибольшее изменение ее наблюдается при воздушной системе охлаждения, а наименьшее - в камере с панельной системой. Анализ зависимости (10) показывает, что изменение величины  $\Delta G$  в основном зависит от произведения  $N F_n$ . Комплекс  $N$  характеризует интенсивность переноса тепла с единицы поверхности продукта к поверхности приборов охлаждения с учетом степени заполнения камеры продуктом. Величина  $N$  зависит от соотношения составляющих  $d_n$  и  $d_s f$ . При заполнении камеры продуктом на 100...60%  $d_n > d_s f$ , с уменьшением ее до 60...40%  $d_n \approx d_s f$  и ниже 40%  $d_n < d_s f$ . Поэтому на усушку продуктов в недогруженных камерах оказывает влияние не только осушающая способность приборов охлаждения (Д.Г.Рятов), но также испарительная способность хранимого продукта (при заполнении продуктом менее 40%).

Зависимость усушки продуктов от температурного напора  $t_n - t_s$  представлена на рис.3. Анализ проведен для камеры, оборудованной воздушной системой охлаждения, при скоростях воздуха вблизи продукта, равных 0,2 м/с и 0,6 м/с и температурах камеры  $-10^\circ\text{C}$ ,  $-20^\circ\text{C}$  и  $-30^\circ\text{C}$ . Площадь поверхности приборов охлаждения изменяли в соответствии с изменением температурного напора таким образом, чтобы выдерживалось условие  $Q_s = const$ . Как видно из графиков, для всех режимов характерно наличие максимума усушки, что согласуется с результатами, полученными П.Перссоном.

При постоянной тепловой нагрузке камеры с понижением температуры охлаждающей поверхности увеличивается разность влагосодержаний

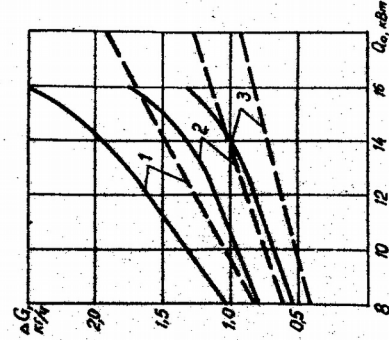


Рис.4. Зависимость усушки от температурного напора

- 1 - воздушная система охлаждения;
- 2 - оребренные батареи;
- 3 - панельная система охлаждения;
- с инеем;
- без инея.

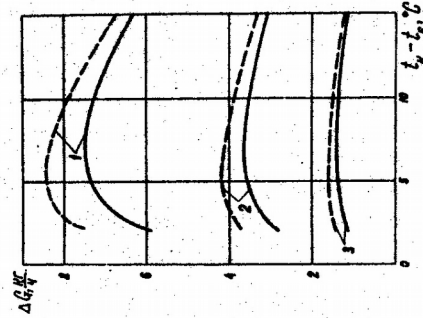


Рис.3. Зависимость усушки от температурного напора

- 1 - температура воздуха камеры минус  $10^\circ\text{C}$ ;
- 2 - то же, минус  $20^\circ\text{C}$ ;
- 3 - то же, минус  $30^\circ\text{C}$ ;
- $V_n = 0,2 \text{ м/с}$ ;
- $V_n = 0,6 \text{ м/с}$ .

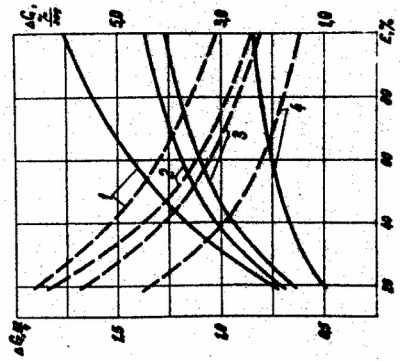


Рис.2. Зависимость усушки от заполнения камер продуктом

- 1 - воздушная система охлаждения,
- 2 - оребренные батареи / по Д.Г.Рятову/;
- 3 - оребренные батареи;
- 4 - панельная система охлаждения;
- абсолютная усушка;
- относительная усушка.

$d_n'' - d_s''$ , но одновременно сокращается площадь приборов охлаждения. Первое способствует увеличению усушки, а второе - ее уменьшению. Взаимодействие этих факторов приводит к образованию максимума.

Приведенные графики иллюстрируют также влияние скорости воздуха вблизи продукта на интенсивность влагопереноса. При малых температурных напорах  $\Delta t \leq 5^\circ\text{C}$  изменение скорости от 0,2 м/с до 0,6 м/с вызывает повышение усушки на 20...25%, а при  $\Delta t \geq 10^\circ\text{C}$  усушка увеличивается только на 10%.

Осаждение инея на приборах охлаждения при прочих равных условиях повышает равновесную температуру воздуха камеры и, соответственно, усушку продуктов. В автоматическом режиме работы камер обеспечивается поддержание постоянной температуры и даже при осаждении инея, если коэффициент рабочего времени прибора охлаждения меньше единицы. В этих условиях увеличивается время работы прибора охлаждения, но уменьшается разность влагосодержаний. Как показали исследования, при условиях, характерных для камер хранения мороженных грузов, с увеличением термического сопротивления инея усушка растет. Результаты расчетов приведены на рис.4. Как видно из рисунка, в результате осаждения инея усушка продуктов может увеличиваться на 20...30% по сравнению с режимами работы батарей без инея. При неизменных условиях теплообмена на поверхности батарей усушка практически изменяется прямо пропорционально тепловому потоку (рассматривался поток тепла, поступающий только от наружных ограждений). Так как в реальных условиях эксплуатации батарей теплоотдача на их поверхности постоянно изменяется, то эта закономерность нарушается.

Камеры хранения мороженных продуктов постоянно работают в условиях неустановившегося режима. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, претерпевая сезонные, суточные и более короткие по продолжительности колебания. Нарушение стационарности процесса хранения происходит также в результате проведения технологических операций и применения двухпозиционной системы регулирования температуры воздуха камеры. Влияние нестационарности температурных режимов на усушку продуктов оценивалось расчетным путем. Предполагалось, что камера оборудована воздушной системой охлаждения, полностью загружена говядиной средней упитанности, средняя температура воздуха равна  $-20^\circ\text{C}$ . Закон изменения  $t_n$  принят синусоидальным с амплитудами 1, 2,  $3^\circ\text{C}$  и периодом, равным 24 часам. Температура поверхности приборов охлаждения повторяла синусоидальный закон. На рис.5 представлены результаты расчетов при амплитуде  $3^\circ\text{C}$ . Из графиков видно, что температура поверхности продукта изменяется с некоторым запаздыванием по фазе и мень-

шей амплитудой. В начальный период (повышение тепловой нагрузки камеры) наблюдается уменьшение температурного напора  $t_n - t_s$ . Это объясняется запаздыванием хода изменения  $t_n$  относительно  $t_s$ . При этом интенсивность переноса влаги с поверхности продукта уменьшается. В течение второго полупериода (понижение тепловой нагрузки камеры) наблюдается увеличение температурного напора  $t_n - t_s$  и, соответственно, величина усушки возрастает.

Влияние нестационарности температурных режимов на усушку оценивалось коэффициентом  $K_G = \Delta G_i / \Delta G_{const}$ , т.е. отношением величины усушки при нестационарном режиме хранения к стационарному. В первые 24 часа при амплитудах 1, 2 и  $3^\circ\text{C}$  значение  $K_G$ , соответственно, равно 1,031; 1,059; 1,084. На этом периоде сказываются начальные условия. Практически начиная со второго периода (24...48 ч) строго повторяются характерные для каждого промежутка времени от начала колебаний температуры на теплопередающих поверхностях. В течение второго периода величина  $K_G$  равна 1,01; 1,017; 1,023, соответственно, при амплитудах колебаний воздуха камер 1, 2 и  $3^\circ\text{C}$ . Анализ показывает, что для рассматриваемых условий интенсивность переноса влаги пропорциональна амплитуде колебаний и определяется разностью влагосодержаний  $d_n'' - d_s''$ . Из приведенных данных видно, что колебания температуры незначительно влияют на усушку продуктов, однако при многократном повторении они могут составить значительную величину.

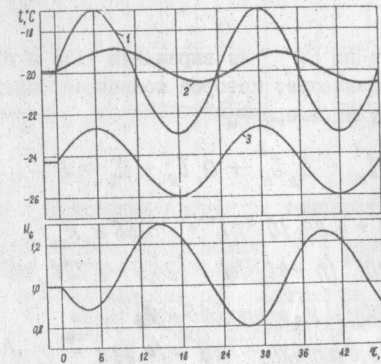


Рис.5. Изменение температуры и усушки продукта при синусоидальных колебаниях с периодом, равным 24 часам

1 - температура воздуха камеры; 2 - температура поверхности продукта; 3 - температура поверхности приборов охлаждения.

Как показал обзор литературы, у нас в стране температура воздуха в камерах при хранении одинаковых видов продуктов принимается -18... -25°C, независимо от типа охлаждающей системы. Переход на более низкую температуру сопряжен с дополнительными энергетическими и капитальными затратами. Однако при этом сокращаются потери продуктов от усушки. При наличии таких противоположных тенденций возможно отыскание температуры воздуха, которой будет соответствовать минимальная величина расчетных затрат. Критерием для выбора оптимального режима принята переменная часть приведенных годовых затрат, которая включает в себя затраты на выработку холода и связанные с усушкой продуктов амортизационные отчисления от стоимости изоляционной конструкции и приборов охлаждения. Сумма всех годовых расходов, выраженная через температуру воздуха камеры, имеет следующий вид:

$$R = \frac{K_3 F_H}{t_p - t_H} [0,458 t_H^2 + (2,85 - 0,458 t_{cr}) t_H - 2,85 t_{cr}] + (0,033 K_{na} F_{na} + 2,43 \cdot 10^{-3} nE + 1,308 \cdot 10^{-4} hB) t_H^2 + [24,5 \cdot 10^{-3} nE - 0,171 K_{na} F_{na} + (0,010302 - 1,308 \cdot 10^{-4} h) hB - 0,01 F_H] t_H + 0,062 nE - 0,2034 K_{na} F_{na} + [(4,36 \cdot 10^{-5} h - 5,151 \cdot 10^{-3}) h + 0,215] hB + 0,01 t_p F_H + 0,115 c_{a0} F_B \quad (II)$$

Взяв производную по  $t_H$  из выражения (II) и приравняв ее нулю получим кубическое уравнение, которое позволяет определить оптимальную температуру воздуха камеры

$$a_3 t_H^3 + a_2 t_H^2 + a_1 t_H + a_0 = 0, \quad (I2)$$

где

$$a_3 = 2,62 \cdot 10^{-4} hB + 4,86 \cdot 10^{-3} nE + 0,066 K_3 K_{na} F_{na};$$

$$a_2 = [0,01 - 1,31 \cdot 10^{-4} (h + 4 t_p)] hB + (24,5 - 9,72 t_p) nE \cdot 10^{-3} + (0,171 - 0,132 t_p) K_3 K_{na} F_{na} - 0,46 K_3 F_H;$$

$$a_1 = \{ [2,62 \cdot 10^{-4} (t_p + h) - 0,02] hB + (4,86 t_p - 49) nE \cdot 10^{-3} + (0,066 t_p - 0,342) K_3 K_{na} F_{na} + 0,935 K_3 F_H \} t_p;$$

$$a_0 = [(0,01 - 1,31 \cdot 10^{-4} h) hB + 24,5 \cdot 10^{-3} nE + 0,171 K_3 K_{na} F_{na} - 0,01 F_H] t_p^2 + [(2,85 - 0,458 t_{cr}) t_p - 2,85 t_{cr}] K_3 F_H$$

Анализ изменения приведенных затрат в зависимости от температурных режимов был проведен для однотипных камер, оборудованных ребренными батареями, а также воздушной и панельной системами охлаждения. Расчеты приведены для южной климатической зоны (г.Тбилиси). Рассмотрены два режима работы приборов охлаждения: при наличии инея на батареях и для чистых поверхностей. Результаты расчетов приведены на рис.6. Основную долю суммарных затрат составляют расходы, связанные с компенсацией тепловых потоков камеры и усушкой продуктов. Удельный вес амортизационных отчислений от стоимости изоляционной конструкции и охлаждающих батарей изменяется от 3% до 8%.

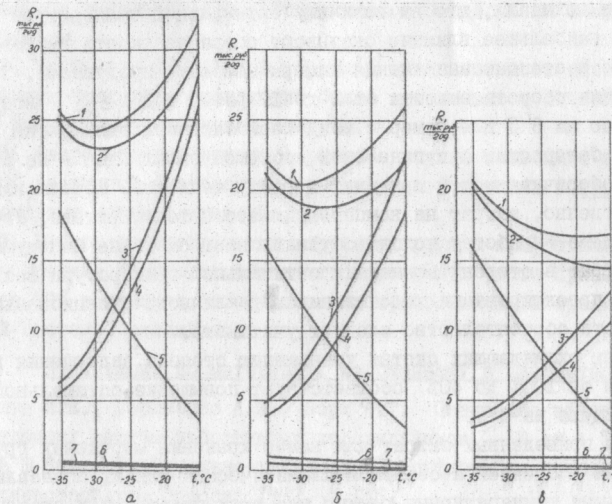


Рис.6. Зависимость приведенных затрат от температуры воздуха камеры

а - воздушная система охлаждения; б - ребренные батареи; в - панельная система охлаждения

1 - суммарные приведенные затраты при наличии инея на приборах охлаждения; 2 - то же, без инея; 3 - затраты, связанные с усушкой продуктов при наличии инея на приборах охлаждения; 4 - то же, без инея; 5 - затраты на выработку холода; 6 - амортизационные отчисления от стоимости приборов охлаждения; 7 - амортизационные отчисления от стоимости изоляционной конструкции.

Наибольшие приведенные годовые затраты получены для камеры с воздушной системой охлаждения. Это объясняется повышенным потреблени-

ем электроэнергии, связанным с работой вентиляторов (увеличение до 10%), а также повышенной усушкой продуктов. Оптимальный уровень температур находится в интервале  $-28^{\circ}\text{C} \dots -31^{\circ}\text{C}$ . Более низкая температура соответствует режиму работы приборов охлаждения, покрытых инеем.

Общие затраты для камеры, оборудованной оребренными батареями, на 15...18% меньше, чем для камеры с воздушной системой охлаждения. Оптимальная температура находится в диапазоне  $-29 \dots -25^{\circ}\text{C}$ .

Камера с панельной системой охлаждения имеет наименьшие общие затраты, которым соответствует оптимальная температура  $-21 \dots -17^{\circ}\text{C}$  для режима работы батарей с инеем. Для режима работы без инея минимум затрат получен в диапазоне температур  $-10 \dots -12^{\circ}\text{C}$ .

Расчеты показали, что на величину оптимальной температуры воздуха камеры наибольшее влияние оказывают обрачиваемость грузов на холодильники и степень заполнения камеры пищевыми продуктами. Так, при увеличении оборота емкости от 2 до 10 раз в год  $t_{\text{opt}}$  возрастает примерно на  $3^{\circ}\text{C}$  для камер с воздушной системой охлаждения и оребренными батареями, а с панельной системой охлаждения - на  $5^{\circ}\text{C}$ . Увеличение обрачиваемости приводит к росту теплового потока камеры и, соответственно, затрат на компенсацию этого теплопритока. Увеличение затрат на выработку холода обуславливает смещение минимума приведенных затрат в сторону повышения оптимальной температуры воздуха камеры. При проектировании холодильников различного функционального назначения это обстоятельство следует учитывать.

Для всех охлаждающих систем уменьшению степени заполнения камеры продуктом от 100% до 40% соответствует повышение оптимальной температуры воздуха на  $3^{\circ}\text{C}$ .

Расчеты приведенных затрат для камер хранения мороженых грузов, расположенных в средней и северной климатических зонах, показали, что оптимальные температурные режимы для всех охлаждающих систем находятся в пределах, указанных выше. Это объясняется тем, что вместе с уменьшением тепловых потоков через наружные ограждения для районов с более низкой среднегодовой температурой также уменьшается усушка продуктов, а характер кривых суммарных затрат остается практически неизменным, хотя абсолютная величина этих расходов снижается.

Уменьшения суммарных приведенных затрат можно достичь путем внедрения мероприятий, сокращающих усушку продуктов. С уменьшением усушки пропорционально будут сокращаться энергетические затраты, так как оптимальная температура воздуха камеры повышается.

При хранении упакованных пищевых продуктов, для которых потери от усушки значительно меньше, среднегодовые расходы по камерам всех

рассматриваемых систем будут определяться в основном затратами на выработку холода. Температура хранения в этом случае регламентируется только технологическими требованиями.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Применение разработанного метода определения температуры поверхности продукта позволяет уточнить величину и направление составляющих теплового баланса штабеля хранимых пищевых продуктов при различных охлаждающих системах.

2. Нарастание инея на приборах охлаждения приводит к росту усушки хранимых продуктов при автоматическом поддержании температуры воздуха камеры.

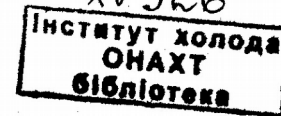
3. Изменение абсолютной усушки в зависимости от степени заполнения камеры продуктом происходит более интенсивно в системах охлаждения с вынужденным движением воздуха.

4. Разработанная методика расчета усушки позволяет анализировать влияние различных факторов на величину естественных потерь при квазистационарных режимах хранения.

5. Работа камер хранения мороженых грузов при оптимальной температуре воздуха позволяет сократить переменную часть приведенных затрат на 20% в камерах, оборудованных оребренными батареями либо воздушной системой охлаждения.

#### Публикации по материалу, изложенному в диссертации:

1. Бушта И.В., Гордиенко А.В., Борщ А.Т. Повышение эффективности охлаждающих систем действующих холодильников. - В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению. Одесса, 1982, с.146.
2. Исследование панельной системы охлаждения одноэтажных холодильников /Косой С.М., Бушта И.В., Царева Л.А. и др. - В кн.: Холодильная техника и технология. Киев, 1972, вып.15, с.6-12.
3. Мнацаканов Г.К., Бушта И.В., Чумак Н.И. Процессы тепло- и массообмена в камерах хранения мороженых грузов. - Холодильная техника, 1978, № 12, с.22-26.
4. Мнацаканов Г.К., Бушта И.В. Метод расчета относительной влажности воздуха холодильных камер хранения. - В кн.: Холодильная техника и технология. Киев, 1979, вып.28, с.62-64.
5. Мнацаканов Г.К., Бушта И.В. Температура поверхности продукта при холодильном хранении. - В кн.: Холодильная техника и технология. Киев, 1982, вып.34, с.115-119.



6. Мнацаканов Г.К., Бушта И.В. Влияние загрузки камеры и нестабильности температурных режимов на усушку продуктов. - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Использование искусственного холода для сокращения потерь пищевых продуктов - важное средство в решении Продовольственной программы страны", Калининград, 1983, с.71-72.
7. Мнацаканов Г.К., Бушта И.В. Влияние загрузки камер хранения на потери мороженых продуктов. - Холодильная техника, 1984, № 2, с.21-22.
8. Технико-экономический анализ режимов хранения мороженых грузов в камерах, оборудованных различными системами охлаждения /Чуклин С.Г., Чумаков И.Г., Чернозубов А.М., Борщ А.Т., Бушта И.В. - М.: ЦНИИТЭИ машиностроения СССР, 1969. - 17 с.

Условные обозначения

$B_i$  - число Био;  $c$  - удельная теплоемкость;  $d$  - влагосодержание воздуха;  $E$  - емкость;  $F_0$  - число Фурье;  $G$  - масса;  $\Delta G$  - усушка;  $Q$  - тепловой поток;  $\tau$  - скрытая теплота сублимации;  $T, t$  - температура;  $V$  - скорость;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи;  $\beta$  - коэффициент массообмена;  $\varepsilon$  - степень черноты;  $\zeta$  - время;  $\psi$  - коэффициент облученности;  $\varphi$  - относительная влажность воздуха;  $F$  - площадь поверхности;  $k$  - коэффициент теплопередачи;  $B, h$  - промежуточные параметры.

Индексы при условных обозначениях:

$B$  - батарея;  $B$  - влажный;  $BH$  - внутренний;  $UH$  - иней;  
 $K$  - камера;  $L$  - лучистый;  $LT$  - лучистый теплый;  
 $LX$  - лучистый холодный;  $M$  - смоченный термометр;  
 $H$  - начальный;  $P$  - продукт;  $Pl$  - пол;  $p$  - расчетный;  
 $CP$  - среднегодовой;  $T$  - теплый;  $y$  - усушка;  
 $X$  - холодный;  $\varepsilon$  - эксплуатационный.

*Бушта*

ВР. 04900. Подъ и Печата 29.06.84г. Формат 60 x 84 1/16.  
Объём 6,78-уч.изд. л. 1,9л. л. Заказ № 3442. Тираж 100 экз.  
Гортинографы: Одесского облполиграфиздата, цех №3  
Листа, 49.