

Автореф
А56

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

АЛЬ-КЕРАВАН БАССАМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА
В КАМЕРАХ ОХЛАЖДЕНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ МЯСА
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРОДУКТА

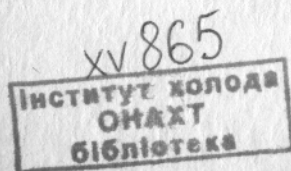
Специальности: 05.04.03 - Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем
кондиционирования

05.18.12 - Процессы, машины и агрегаты
пищевой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1991



Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научные руководители - заслуженный деятель науки УССР, доктор технических наук, профессор И.Г.Чумак
кандидат технических наук, доцент С.Ю.Ларьяновский

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор М.А.Гришин
кандидат технических наук, доцент Е.П.Онищенко

Ведущая организация: Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт продуктов детского питания. НИО "КОНСЬГВПРОМКОМПЛЕКС" (г.Одесса)

Защита диссертации состоится "27" МАЯ 1991 г.
в II часов на заседании специализированного совета К.068.27.01 Одесского института низкотемпературной техники и энергетики по адресу: 270100, г.Одесса, ул.Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "25" АПРЕЛЯ 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
к.т.н., доцент

Р.К.Никкульшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсивный рост населения планеты приводит к возрастающему напряжению продовольственной проблемы. В то же время, по данным Международного института холода, ежегодно теряется 20...30% всех производимых в мире продуктов питания, что составляет не менее миллиарда тонн. Большая часть этих теряемых пищевых продуктов может быть сохранена при условии широкого применения искусственного холода. Поэтому разработка рациональных способов холодильной обработки и хранения пищевых продуктов, обеспечивающих сокращение потерь, является важной задачей международного масштаба.

Исследование проблемы рациональных способов холодильной обработки мяса является комплексной задачей, при решении которой необходимо учитывать процессы тепло- и массообмена, протекающие между поверхностью мяса и воздухом камеры, изменение свойств поверхности продукта и влияние их на тепломассообмен.

Изучение свойств поверхностного слоя мяса в процессе термобработки и учет влияния их на величину естественных потерь позволит уточнить существующие методики расчета усушки, на основе чего можно проводить разработку рациональных способов холодильной обработки мяса и охлаждающих систем для них.

Цель работы

1. Получить расчетные зависимости по тепло- и массообмену при холодильной обработке мяса (говядины, свинины, баранины) на основании экспериментальных исследований процессов сорбции и десорбции влаги из мяса, в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха, и на их основе уточнить методы расчета усушки, основанные на закономерностях термодинамики влажного воздуха.

2. Проверить возможность распространения потенциальной теории сорбции и графоаналитического метода характеристических кривых равновесного влагосодержания капиллярно-пористых коллоидных материалов (КПКМ) для мясных продуктов.

Задачи работы

1. На основании экспериментальных исследований установить зависимость влагосодержания говядины, свинины и баранины от температуры и относительной влажности воздуха над поверхностью продукта.

2. Получить обобщенную зависимость $W = f(\varphi, T)$ для этих видов мяса при температурах от 0 до минус 20°C в широком интервале относительной влажности воздуха.

3. Составить таблицы термодинамических свойств равновесных влагосодержаний и коэффициентов массоемкости говяжьего, свиного и бараньего мяса в интервале температур их холодильной обработки и хранения.

4. Обобщить зависимость для расчета поверхностного влагосодержания говядины, свинины и баранины от температуры, относительной влажности и скорости движения охлаждающего воздуха при их охлаждении и замораживании.

5. Усовершенствовать метод расчета усушки по тепловлажностной характеристике процесса и равновесной влажности продукта при охлаждении и замораживании мяса.

Научная новизна работы определяется:

1. Экспериментальными данными о равновесном влагосодержании говяжьего, свиного и бараньего мяса, полученными впервые.
2. Программой и методикой обработки экспериментальных данных о равновесном содержании мяса с помощью характеристических кривых.
3. Методикой построения однопараметрических уравнений приведенных влагосодержаний мяса.
4. Усовершенствованием метода расчета усушки мяса при его охлаждении с учетом уравнения равновесного влагосодержания мяса.
5. Таблицами приведенных термодинамических свойств мяса (сорбция-десорбция) в интервале температур от 0 до минус 20°C.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Зависимости равновесных влагосодержаний мяса говядины, свинины и баранины от температуры и относительной влажности воздуха подобны, что позволило в рамках потенциальной теории сорбции обобщить характеристическую кривую с точностью эксперимента.
2. При расчете оптимальных условий охлаждения мяса, с учетом минимизации усушки, эффективно использовать его уравнение равновесного влагосодержания.

Практическая ценность работы. Усовершенствованный метод расчета усушки с использованием коэффициента влагопереноса при холодильной обработке мяса с учетом влияния состояния поверхностного слоя позволяет прогнозировать естественную убыль продуктов в действующих и во вновь проектируемых камерах охлаждения и заморажи-

вания мяса в широком диапазоне параметров охлаждающего воздуха. Приведенные данные и методика расчета показывают, что значения ϵ , определяемые в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха, позволят получить более точные данные об усушке мяса при его холодильной обработке.

Предложенный метод расчета применен для технологической экспертизы работы мясокомбината в г. Первомайске в течение 5 лет, что открывает возможности создания постоянного и текущего технологического контроля качества работы камер холодильной обработки и хранения мяса.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Всесоюзной научно-практической конференции "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях Агропромышленного комплекса, в торговле и на транспорте" (г. Одесса, 1989 г.), а также на 49-й научной конференции ОТИП (г. Одесса, 1989 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 5-ти печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 140 страниц машинописного текста, 26 рисунков и 11 таблиц, библиографии - 137 наименований, из которых - 12 иностранных; объем приложений, содержащих блок-схемы головного модуля программы, исходные тексты программ, таблицы приведенных равновесных влагосодержаний мяса и пример работы программы - 76 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, выполнено краткое описание работы и сформулированы защищаемые в работе научные положения.

В первой главе диссертации проанализированы опубликованные в литературе методики расчета усушки пищевых продуктов при холодильной обработке, где сделан вывод о необходимости их совершенствования путем уточнения параметров воздуха у продукта с учетом влияния поверхностного влагосодержания продукта. Для различных холодильных технологий рассмотрены температурные режимы работы систем и технические средства их достижения. Обращено внимание на необ-

ходимость совершенствования туннельных охлаждающих устройств.
На основании выводов сформулированы задачи исследования.

Во второй главе работы рассмотрены методы и результаты выполненных экспериментальных измерений равновесных влагосодержаний мяса (говядины, свинины, баранины) в интервале температур от 0 до минус 20°C. Целью эксперимента являлось получение изотерм сорбции-десорбции этих видов мяса в диапазонах изменения параметров воздуха, важных для холодильной технологии.

Для получения изотерм сорбции-десорбции мясopодуKтов наиболее приемлемым с точки зрения простоты и надежности является тензометрический метод Ван-Бамелена.

Определение исходного влагосодержания образцов мяса, использованных в опытах, проводилось по методике, рекомендуемой ГОСТ 9793-74. Есыушивание образцов осуществлялось при температуре 150±2°C в сушильном шкафу ШСС-80П. Необходимые взвешивания образцов выполнялись на аналитических весах ВЛА-200М, с точностью ±10⁻⁴г.

В опытах по десорбции использовались образцы говядины, свинины и баранины с начальным влагосодержанием $U_{н.с} = 3,2$; $U_{н.с} = 2,9$; $U_{н.с} = 3,35$ кг влаги/кг сухой массы, соответственно. В опытах по сорбции - образцы мяса после сублимационной сушки с U_n не более 0,1 кг влаги/кг сухой массы.

Эксикаторы термостатировались в климатической камере КТК3000 производства ГДР, с диапазоном рабочих температур от минус 30 до 80°C. Поддержание заданной температуры производилось автоматически. Отклонение температуры в объеме камеры от заданной величины не превышало ±0,3°C.

Контроль постоянства температуры воздуха в эксикаторах осуществлялся с помощью термopарного комплекса, состоящего из 8 медь-константановых термopар, переключателя выбора точек измерения и микровольтметра В7-21. Расчетная погрешность измерения температуры не превышала ±0,2°C.

Контроль постоянства относительной влажности воздуха в эксикаторах производился с помощью полупроводниковых термокомпенсированных пленочных датчиков.

Равновесное влагосодержание образцов (U_i) рассчитывалось по формуле:

$$U_i = \frac{m_p(U_n + 1)}{m_n} - 1, \quad (I)$$

где U_n - исходное влагосодержание образцов, кг влаги/кг сухой массы;

m_n, m_p - исходная и текущая массы образца, кг.

Относительная влажность воздуха в эксикаторах рассчитывалась как отношение $\varphi_p = (P_n/P_w'')$. Здесь P_n/P_w'' - отношение парциального давления пара над поверхностью мяса к парциальному давлению пара над переохлажденной водой при той же температуре. Необходимо отметить, что величина φ_p является критерием активности воды в мясной ткани A_w , которую можно рассматривать как эффективную концентрацию.

Для удобства расчетов усушки, при использовании полученных в работе данных, была составлена таблица, где в качестве φ_p используется не величина активности воды A_w , а φ_n , рассчитанная по формуле:

$$\varphi_n = A_w \cdot \frac{P_w''}{P_n''}, \quad (2)$$

где P_n'' - парциальное давление насыщенного пара над льдом.

Полученные в диссертации экспериментальные изотермы сорбции-десорбции мяса (говядина, свинина, баранина) показаны на рис.1, 2 и 3, соответственно. На рис.4 приведены обобщенные изотермы для исследованных видов мяса, где $W = U/U_{os}$. Значения параметров U_{os} , равны 1,353, 2,017 и 1,608 кг влаги/кг сухой массы, соответственно для говядины, свинины и баранины.

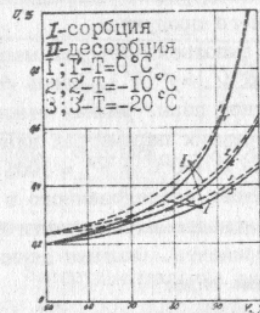


Рис.1. Изотермы сорбции-десорбции говяжьего мяса.

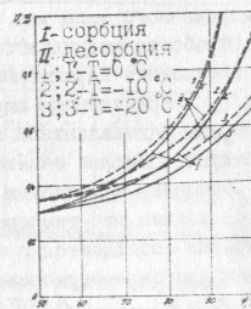


Рис.2. Изотермы сорбции-десорбции свиного мяса.

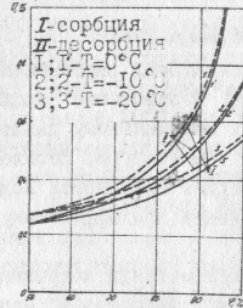


Рис.3. Изотермы сорбции-десорбции бараньего мяса.

Анализ погрешностей показал, что доверительный интервал для всех температур увеличивается с ростом φ . Относительная расчетная погрешность измерения U равна от 3 до 8%.

В третьей главе диссертации выполнена обработка полученных опытных данных. Обосновывается применимость метода анализа и обобщения экспериментальных данных о равновесном влагосодержании КПКМ разработанного в рамках потенциальной теории сорбции для систем с развитой поверхностью раздела фаз, разработанной В.А.Загоруйко для анализа и обобщения равновесных влагосодержаний охлажденного и замороженного мяса как типичного влажного продукта.

Обработка результатов эксперимента выполнена методом машинного построения характеристических кривых $U = f(\bar{H})$. Здесь $\bar{H} = H / H_{0s}$ - приведенная ширина эквивалентной поры, равная отношению ширины эквивалентной поры (H) при текущих параметрах влажного воздуха к ширине эквивалентной поры по $t = 0^\circ\text{C}$ и $\varphi = 100\%(H_{0s})$.

Обобщения в пределах каждого вида мяса, исследованного в работе, показали, что температурная инвариантность характеристических кривых соблюдается с точностью эксперимента. Опытные данные описаны однопараметрическими зависимостями вида:

$$U = a \exp(b \cdot \bar{H}^m) + c \exp(d \cdot \bar{H}^n), \quad (3)$$

Выполнены также исследования, направленные на построение единой характеристической кривой, обобщающей приведенные влагосодержания всех исследованных в настоящей работе видов мяса:

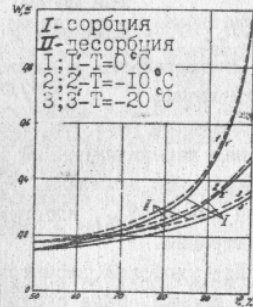


Рис.4. Обобщенные изотермы сорбции-десорбции мяса.

$$W = A \cdot \exp(B \cdot \bar{H}^m) + C \cdot \exp(D \cdot \bar{H}^n), \quad (4)$$

где $W = U / U_{0s}$ - приведенное влагосодержание.

В качестве параметра приведения (U_{0s}) используется значение влагосодержания при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ и $\varphi = 100\%$.

Значения коэффициентов уравнений (3) и (4) приведены в табл. I. Там же указаны средние квадратические относительные погрешности описания соответствующих экспериментальных данных.

Табл. I

Коэффициенты однопараметрических уравнений

Наименование мяса	Процесс тепло-массо-обмена	Значения коэффициентов уравнения (3)						$\delta U, \%$
		a	b	c	d	m	N	
Говядина	сорбция	0,270	1,643	-0,231	-1,836	2,798	1,208	3,04
	десорбция	0,391	1,305	-0,307	-1,299	3,331	1,253	3,78
Свинина	сорбция	0,224	1,991	-0,290	-2,816	1,769	0,551	2,95
	десорбция	0,377	1,704	-1,109	-2,848	2,085	0,267	1,68
Баранина	сорбция	0,153	2,121	-0,118	-1,912	1,490	0,845	2,34
	десорбция	0,349	1,626	-0,488	-1,383	2,457	0,250	2,42

	Процесс тепло-массо-обмена	Значения коэффициентов уравнения (4)						$\delta U, \%$
		A	B	C	D	M	N	
Обобщенная	сорбция	0,199	1,643	-0,171	-1,836	2,798	1,208	3,38
	десорбция	0,289	1,305	-0,227	-1,299	3,332	1,253	3,28

Экспериментальные данные о равновесном влагосодержании трех видов мяса при сорбции и десорбции влаги на изотермах 0, -5, -10, -15, -20°C, описанные характеристическими кривыми $U = f(\bar{H})$, и часть из них показаны на рис.5.

τ - продолжительность термообработки, ч;
 B - коэффициент, зависящий от t_g и v_g охлаждающего воздуха.

Логично предположить, что процессы обезвоживания различных видов мяса (говядины, свинины, баранины) похожи друг на друга в связи с тем, что мышечные структуры сортов мяса одинаковы. Это дало нам основание использовать зависимость (7) для свинины и баранины. Проверочные расчеты подтвердили пригодность этой зависимости для расчета U_n свинины и баранины.

Зависимость (7) справедлива в следующем диапазоне параметров воздуха: $t_g = 0 \dots$ минус 25°C ; $v_g = 1 \dots 5$ м/с; $\tau = 0 \dots 24$ ч. Графики зависимостей $B = f(t_g, v_g)$ показаны на рис.6.

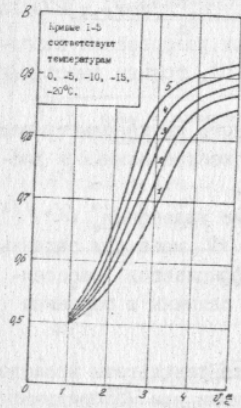


Рис.6. Зависимость коэффициента B от t_g и v_g

При этом коэффициент влагопереноса ξ_d может быть рассчитан из выражения:

$$\xi_d = \frac{Q_{обм}}{Q_{ис}}, \quad (9)$$

где $Q_{обм}$ - общее количество теплоты, стводимой от продукта за цикл холодильной обработки, кДж;

$Q_{ис}$ - количество теплоты, необходимой на испарение влаги с его поверхности, кДж.

Величина показателя степени (N) связана с B следующим соотношением:

$$N = - \frac{lg B}{1,38} \quad (8)$$

Предлагаемый метод расчета усушки различных видов мяса и мясопродуктов при их холодильной обработке основан на уже апробированном методе, предложенном Н.И.Чумак.

Расчет усушки ΔG основан на использовании коэффициента влагопереноса ξ_d , зависящего от средних значений температуры поверхности \bar{t}_n и относительной влажности воздуха над поверхностью продукта $\bar{\varphi}$ при его охлаждении или замораживании.

Расчет усушки производится по формуле:

$$\Delta G = \frac{Q_{обм} - Q_n}{\xi_d \cdot \tau(t)}, \quad (10)$$

где Q_n - количество теплоты, стводимое от продукта излучением за цикл холодильной обработки, кДж;

$\tau(t)$ - теплота фазового перехода при средней температуре поверхности продукта \bar{t}_n , кДж/кг.

Рассматривая процесс охлаждения и замораживания, можно сказать, что в большинстве случаев (за исключением применения радиационно-конвективной системы охлаждения) лучистый теплообмен пренебрежимо мал. Тогда:

$$\Delta G = \frac{Q_{обм}}{\xi_d \cdot \tau(t)}, \quad (11)$$

Значения средней температуры поверхности определяют из термометрических измерений

$$\bar{t}_n = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{t}_{ni} \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \quad (12)$$

Уравнения (7) и (8) позволяют рассматривать значения U_n в любой момент времени в широком диапазоне режимных параметров холодильной обработки мяса. Имея значения t_n и U_n можно определить в любой момент времени термообработки и построить диаграммы зависимости $\varphi_n = f(\tau)$ для заданных параметров охлаждающего воздуха и определить среднее значение $\bar{\varphi}_n$ в заданном интервале времени

$$\bar{\varphi}_n = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{ni} \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i}, \quad (13)$$

Значение $\bar{\varphi}_{ni}$ определяется по таблицам текущих значений \bar{t}_{ni} и \bar{U}_{ni} либо из уравнений (5).

С другой стороны, зная конкретные условия холодильной обработки мяса (t_g, v_g, φ_g), и, используя выражения (7) и (8), можно определить среднеинтегральное значение поверхностного влаго содержания мяса U_n для заданного времени термообработки:

$$U_n = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau [U_0(1 - B\tau^n) + 0,176 \tau^{0,507} U_p] d\tau, \quad (14)$$

По среднеинтегральному значению поверхностного влаго содержания U_n и средней за процесс температуре поверхности \bar{t}_n , по уравнению (5) определяется $\bar{\varphi}_n$. Сравнения $\bar{\varphi}_n$, рассчитанных по диаграммам и соотношению (13) с одной стороны, и по U_n и \bar{t}_n - с другой, с имеющимися в литературе экспериментальными данными, показало их совпадение и правомерность расчета $\bar{\varphi}_n$ по

среднеинтегральному влагосодержанию (I3). Расхождение сравниваемых величин не превышает 3%.

По полученным Н.И.Чумак таблицам определяется ξ_{ϕ} для найденных $\bar{\varphi}_n$ и \bar{t}_n средние за цикл холодильной обработки. Усушка рассчитывается из выражения (II). Сравнение результатов расчета усушки, для трех видов мяса этим методом, с экспериментальными данными А.С.Подмазко показало хорошую сходимость расчетных и опытных данных (см.табл.2).

Табл.2
Сравнение данных по ΔG , рассчитанных из уравнений (7), (8) и (II), с опытными данными А.С.Подмазко

а) говядина													
t _в , °C	v _в , м/с	G, кг	t _{вс} , °C	t _{нк} , °C	Q _{общ} , кДж	ΔG _э		t _н , °C	v _н , кг/кг	φ _н , %	ΔG _р		δ, %
						кг	%				кг	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-15	2,5	85,7	32,2	4	7759,3	129	15	-1,65	0,715	0,93	1,24	1,45	12
-14,8	1,8	54,5	34,7	4	5370	0,85	156	-1,15	1,05	0,97	0,85	1,56	0
-16,5	1,1	74,4	33,6	4	7071,4	110	148	-0,32	1,29	0,99	1,15	1,51	4

б) свинина													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-18	3	74,5	35,2	4	5830,9	0,51	0,69	-4,14	0,87	0,94	0,7	0,94	26
-18,9	1,4	36,5	33,7	4	3263,8	0,32	0,88	-3,25	0,84	0,85	0,43	1,16	24
-22,9	0,5	20,8	36,1	4	1691,4	0,21	1,0	-2,29	0,76	0,92	0,24	1,14	12

в) баранина													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-17,2	1,0	14,6	37,6	4	1545,7	0,24	1,64	-0,9	1,0	0,95	0,24	1,6	1,9
-18,9	1,3	12,3	33,2	4	1108,0	0,15	1,24	-0,23	1,03	0,95	0,16	1,43	13,6
-19,7	1,6	12,2	32,5	4	1061,3	0,15	1,26	-2,1	0,93	0,96	0,16	1,28	1,6

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненное в настоящей диссертации комплексное исследование равновесного влагосодержания говяжьего, бараньего и свиного мяса, включающее экспериментальные измерения, теоретические обобщения и аналитические описания, а также предложенная усовершенствованная методика расчета усушки мяса, позволяют разрабатывать оптимальные процессы охлаждения и хранения, контролируя и прогнозируя нормы естественной убыли продукта, не только этих видов мяса, но и других сортов и видов животного мяса.

2. Функциональные зависимости вида $U = f(\varphi, T)$ для различных видов мяса, а также обобщенная зависимость $W = f(\varphi, T)$, носят самостоятельный научный интерес и могут использоваться для расчета процессов сушки мясных продуктов при проектировании сушильных установок.

3. Предложенная методика совершенствования расчета естественной убыли мясopодуKтов при их холодильной обработке и хранении дает высокую точность расчетов и хорошо согласуется с опытными данными различных авторов.

4. Потенциальная теория сорбции и капиллярной конденсации, разработанная для капиллярно-пористых коллоидных материалов, также применима для обобщения данных о равновесном влагосодержании мяса. Более того, данные о равновесном влагосодержании трех видов мяса (говяжьего, свиного и бараньего), будучи обработанными в рамках этой теории, образовали обобщенную характеристическую кривую, что дает основание надеяться, что равновесное влагосодержание других сортов и видов мяса подчиняется этой зависимости. Проблема заключается только в определении достоверных значений $U_{ос}$ для новых сортов и видов мяса.

5. Точность одно- и двухпараметрических уравнений приведенного влагосодержания мяса, примерно, одинакова. Однако в инженерных расчетах более простым и надежным является двухпараметрическое уравнение, выражающее зависимость U от инструментально измеряемых параметров φ и T . При необходимости уточнения тригономических параметров между экспериментальными данными исследованных видов мяса и математической моделью потенциальной теории или для определения таковых для новых сортов и видов мяса можно использовать систему программ, приводимую в приложении 3 диссертации.

xv 865

6. Для выполнения предварительных расчетов процессов тепло-массообмена между мясом и воздухом заданных параметров можно использовать таблицы приведенного равновесного влагосодержания мяса, представленных в приложении к диссертации. Для организации оптимизационных расчетов процессов охлаждения и хранения мяса и автоматизации поддержания оптимальных параметров воздуха, как естественной среды его хранения, можно разработать соответствующую систему программ на базе уравнений (5).

7. Совершенствование методов расчета усушки мяса, основанных на уравнении термодинамики для влажного воздуха, осуществлено за счет учета влияния свойств поверхностного слоя мясopодуктов, формирующегося при холодильной обработке.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛУ, ИЗЛОЖЕННОМУ В ДИССЕРТАЦИИ

1. Чумак И.Г., Сибиряков П.В., Слынько А.Г., Аль-Кераван Бассам. Исследование равновесного влагосодержания мяса (свинина, баранина, говядина) в диапазоне температур от 0 до минус 20°C - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях Агропромышленного комплекса в торговле и на транспорте", Одесса, 24-26 октября 1989, № 1.
2. Чумак Н.И., Сибиряков П.В., Аль-Кераван Бассам. Расчет усушки с использованием коэффициента влагопереноса и учетом равновесной относительной влажности поверхностного слоя продукта. - В кн.: Тезисы докладов 49-й научной конференции ОТИП, 1989.
3. Загоруйко В.А., Чумак И.Г., Слынько Н.А., Аль-Кераван Бассам, Сибиряков П.В. Гигроскопические свойства мяса. Одес. ин-т инж. морск. флота, Одес. ин-т низкотемп. техн. и энергетики. - Одесса, 1990, 45 с. Деп. в АГРОНИИГЭИмясомолпром 05.01.90, № 674.
4. Загоруйко В.А., Слынько Н.А., Чумак Н.И., Аль-Кераван Бассам, Ахмед Мустафа Макфуз. Обобщение равновесных влагосодержаний мяса и свежего толстолобика. Одес. ин-т низкотемп. техн. и энергетики. - Одесса, 1990. - Деп. в АГРОНИИГЭИмясомолпром 01.11.90, № 717.
5. Слынько А.Г., Чумак Н.И., Аль-Кераван Бассам. Уравнение состояния приведенного равновесного влагосодержания мяса // Тепло-массоперенос в системах холодильной техники. Межвуз. сб. науч. трудов ЛТИХП, январь, 1990, 8 с.