

Автореферат
№ 27

Профессор Турмаку И.Г.

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

Для служебного пользования

Экз. 050029

ДЕЙНЕГО Георгий Петрович

УДК 651.56.629.12:554.911.656.614

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ
СУДОВЫХ ПРОВИЗИОННЫХ КЛАДОВЫХ

Специальность 05.04.03 – машины и аппараты холодильной и
криогенной техники и систем кондиционирования

xv 1118

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Одесса – 1988

Работа выполнена в Одесском технологическом институте холодильной промышленности и Одесском институте инженеров морского флота.

Научный руководитель – заслуженный деятель науки УССР,
доктор технических наук,
профессор Чумак И.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
доцент Милованов В.И.

кандидат технических наук
Цвиговский Г.К.

Ведущее предприятие – п/я А-7075.

Защита диссертации состоится "4" сентября 1988 г.
в 10.00 часов на заседании специализированного совета
К.068.27.01 при Одесском технологическом институте холодильной
промышленности: 270057, г.Одесса, ул.Петра Великого, 1/3, ОТИХП.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " _____ 1988 г.

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

Р.К.Никульшин

Исх. № _____

- 3 -

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Улучшение структуры питания советских людей, в том числе работников морского флота, за счет наиболее ценных в питательном отношении продуктов, намеченное Продовольственной программой СССР, ставит задачи по дальнейшей разработке и совершенствованию технологии их хранения.

Охлажденное мясо по сравнению с замороженным имеет лучшие вкусовые свойства и более высокую питательную ценность, однако наибольший срок хранения (7...10 суток) ограничивает его использование в рационе питания на морских судах. Практика эксплуатации флота показывает, что длительность рейсов морских судов без захода в порты редко превышает 20...25 суток. В этой связи разработка систем охлаждения и дополнительного оборудования, обеспечивающих в судовых провизионных кладовых хранение охлажденного мяса в течение такого срока, улучшит питание экипажей и пассажиров, что является актуальной задачей.

Цель исследования. Разработать способы и регламентировать режимы работы систем охлаждения и дополнительного оборудования, обеспечивающих хранение охлажденного мяса в судовых провизионных кладовых в течение 25...30 суток. Определить степень пригодности типовых систем охлаждения судовых провизионных кладовых для хранения мясопродуктов и разработать рациональную систему охлаждения для кладовых охлажденного мяса.

Научная новизна. Разработаны теоретические основы процессов обработки воздуха в специальных системах охлаждения. Установлены зависимости по теплообмену и аэродинамике в каналах с теплопередающими стенками, ширина которых соизмерима с диаметром трубок охлаждающих батарей воздушно-батарейной системы охлаждения по а.с. СССР № 501254. Регламентированы режимы работы систем охлаждения и дополнительного оборудования – бактерицидных ламп в кладовых с ультрафиолетовым облучением (УФЛ) и средств по поддержанию заданного газового состава атмосферы в кладовых с регулируемой газовой средой (РГС), обеспечивающих хранение охлажденного мяса в течение 25...35 суток. Разработан метод экспериментально-аналитического определения герметичности кладовых с РГС.

Научное положение. Увеличение срока хранения охлажденного мяса в судовых провизионных кладовых обеспечивается при температурах 0...-2°C, относительной влажности 90...95% и скорости воздуха

0,1...0,2 м/с комбинированным применением воздушно-батареиной системы охлаждения и 10% содержанием диоксида углерода в атмосфере при хранении до 35 суток или ультрафиолетовым облучением бактерицидными лампами электрической мощностью 20...30 Вт/м³ с режимом облучения: начальным в течение 3-х часов и последующим в течение 1 часа через каждые 11 часов при хранении до 25 суток.

Научные результаты. Способы УФЛ и РГС обеспечивают хранение охлажденного мяса в судовых провизионных кладовых в течение 25...35 суток. Метод экспериментально-аналитического определения герметичности кладовых позволяет рассчитать расход газа-консерванта при различных рабочих давлениях РГС и определить условия, при которых его потери будут минимальными. Установлено влияние конструкции приборов охлаждения и их компоновки в кладовых на режимы хранения и потери от усушки замороженного и охлажденного мяса. Экспериментальные и аналитические зависимости позволяют производить расчеты коэффициентов теплообмена, аэродинамического сопротивления и геометрических характеристик конструктивных элементов воздушно-батареиной системы охлаждения по а.с. СССР № 501254.

Практическая ценность. Для разработки и проектирования судовых кладовых хранения охлажденного мяса определены: концентрация диоксида углерода и способ ее регулирования в кладовых с РГС; тип, количество, расположение и режим работы бактерицидных ламп в кладовых с УФЛ. Определена степень пригодности типовых систем охлаждения судовых провизионных кладовых для хранения замороженного и охлажденного мяса и предложены рациональные системы охлаждения. Зависимости по теплообмену и аэродинамике в каналах с теплопередающими стенками позволяют производить расчет и проектирование воздушно-батареиной системы охлаждения в кладовых хранения охлажденного мяса. Зависимости по газообмену позволяют определить требуемый запас газа-консерванта на судне для хранения охлажденного мяса и выбрать рациональную систему рециркуляционной вентиляции в кладовых с РГС.

Реализация в промышленности. Приказом Министра Морского флота СССР № 53 от 31 марта 1972 г. предусмотрено создание на вновь строящихся судах провизионных кладовых длительного хранения охлажденного мяса по результатам проведенных исследований.

Разработанные системы охлаждения и дополнительное оборудование включены в Руководящий технический материал РТМ 31.0018-77 "Оборудование судовых провизионных камер средствами для хранения ох-

лажденного мяса в течение 25 суток", ОСТ 5.5231-75 "Установки холодильные провизионных кладовых надводных кораблей и судов. Нормы и Правила проектирования" и проект Руководящего документа РДБ. "Установки холодильные продовольственных кладовых судовые. Правила проектирования", в части кладовых хранения охлажденного мяса со сроком введения в действие с 1 июля 1989 г.

Методика расчета герметичности помещений с РГС применена Южным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом морского флота при разработке технологии перевозок опасных грузов в инертных средах.

Апробация и публикации. Результаты исследований были представлены в докладах на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского института инженеров морского флота (Одесса, 1980-1986 гг.), научно-техническом совете Министерства мясной и молочной промышленности СССР (Москва, 1983 г.), УП Международном симпозиуме по морской медицине (Одесса, 1976 г.).

Результаты исследований изложены в 11 статьях. Получено 2 авторских свидетельства.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Содержит 116 страниц машинописного текста, 67 рисунков. Примечания содержат 6 рисунков и 42 таблицы. Библиография содержит 162 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан анализ применяемых способов охлаждения и хранения мяса в охлажденном виде. Рассмотрены мероприятия, позволяющие увеличить срок хранения охлажденного мяса. Анализ источников информации показал, что в судовых кладовых возможно применение хранения при частичном замещении воздуха диоксидом углерода или с ультрафиолетовым облучением. Практическому применению этих способов препятствовало отсутствие обоснованных рекомендаций по поддержанию в помещениях газового состава атмосферы, выбору бактерицидных ламп, расчету их количества, расположению и режиму работы, а также влиянию условий хранения на срок и величину потерь охлажденного мяса от усушки. Анализ также показал, что системы охлаждения провизионных кладовых практически не исследованы, что затрудняло использование их для хранения охлажденного мяса, требующего поддержания температурного режима с минимальными колебаниями. Изложено определение задачи исследований.

Вторая глава содержит исследования типовых систем охлаждения судовых кладовых мясopодуктов и условий хранения в них замороженного мяса (говядины, свинины, баранины) при эксплуатации судов в умеренных и экваториальных широтах. Натурные исследования пока - зали:

- Системы охлаждения с естественной конвекцией обеспечивают в кладовых неудовлетворительные условия хранения мясopодуктов. Разность температур воздуха в грузовых объемах составляет $4...6^{\circ}\text{C}$, колебание температуры при автоматическом регулировании $3...4^{\circ}\text{C}$, разность температур между поверхностью батарей и воздухом $8...12^{\circ}\text{C}$.

- На всех судах применяемые схемы компоновки приборов охлаждения батарейного типа выполнены без учета гидравлических характеристик сети, что приводит к большим перепадам температуры их по - верхности.

- Системы охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха обеспечивают в кладовых температурный режим с меньшей неравномерностью, при этом скорость воздуха в грузовых объемах составляет $1...6$ м/с.

- Хранение мяса в течение 4-х месяцев при средней температуре воздуха в кладовых минус 12°C и эксплуатации судов в экваториаль - ных широтах характеризуется ухудшением его качества. Фактическая усушка мяса на грузовых судах при загрузке кладовых на 30% состав - ляет для говядины I к. 5,65%, для свинины мясной к. 3,44%, для баранины за 2 месяца хранения 5,2%, на пассажирских судах при загрузке кладовых на 100% соответственно - 3,40%, 2,2%, 4,8%.

- Анализ исследований показал, что величина усушки в основном зависит от теплопритоков к грузовому объему, что определяется районом эксплуатации судна. Наличие в кладовых системы охлаждения из экранных батарей, расположенных на переборках и подволоке, при - водит к снижению усушки при прочих равных условиях.

Третья глава содержит результаты исследований по разработке способа хранения охлажденного мяса в РГС, экспериментально-анали - тическое определение герметичности кладовых, рекомендации по обо - рудованию кладовых системами охлаждения, вентиляции и регулирова - ния газового состава атмосферы.

Проведенные лабораторные исследования показали, что мясо го - вьяке можно хранить при температуре $-1\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, относительной влаж - ности 90%, скорости воздуха $0,2...0,3$ м/с и концентрации $10\pm 0,5\%$ CO_2 в течение 46 суток. Натурные исследования были проведены в кладо - вой с батарейным охлаждением теплохода "П.Дыбенко" при эксплуата -

ции на Черном и Средиземном морях в летний период. Результаты ис - следований в количестве 3-х опытов приведены в таблице I.

Таблица I

Результаты исследований процессов хранения охлажденной говядины I категории в кладовой с РГС т/х "П.Дыбенко"

№ опыта	Температурный режим, °C							
	Поверхность батарей			Воздух в кладовой			Мясо в толще бедра	
	1	2	3	низ	сере- дина	верх	при поступ- лении	при хране- нии
	бата- рея	бата- рея	бата- рея					
1	-4,1	-3,0	-2,3	-1,2	-0,9	-0,4	5,2	-1,0
2	-4,3	-3,2	-2,4	-1,4	-0,8	-0,7	4,3	-1,2
3	-4,6	-3,7	-2,6	-1,5	-0,9	-0,7	2,6	-1,2

Продолжение табл. I

№ опыта	Относи- тельная влажность воздуха в кладовой, %	Скорость воздуха у поверх- ности кладовой, м/с	Газовый режим в кладо- вой, % CO_2	Срок хране- ния мяса, сутки	Фактическая усушка мяса за срок хранения, %	Средне- суточ- ная, %	Степень загрузки кладовой мясом, %
I	92±90	0,1±0,2	10±1	38	5,4	0,14	70
2	92±90	0,1±0,2	10±1	40	4,7	0,12	72
3	91±90	0,1±0,2	10±1	36	5,1	0,14	56

Регулирование концентрации CO_2 производилось автомати - чески (рис. I).

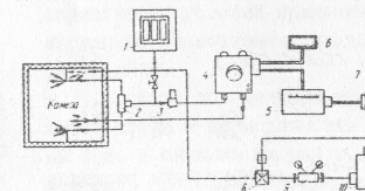


Рис. I. Схема регулирования и контроля концентрации CO_2 в кладовой т/х "П.Дыбенко":

1- газоанализатор ГХП-3; 2- тройник; 3- микрокомпрессор; 4- газоанализатор типа ГЭУК; 5- потенциометр ПСР-1; 6- показывающий % CO_2 прибор; 7- реле МКВ-48; 8- вентиль типа СВМ; 9- редуктор CO_2 ; 10- источник газа (баллоны с CO_2)

Вторая глава содержит исследования типовых систем охлаждения судовых кладовых мясopодуктов и условий хранения в них замороженного мяса (говядины, свинины, баранины) при эксплуатации судов в умеренных и экваториальных широтах. Натурные исследования пока - зали:

- Системы охлаждения с естественной конвекцией обеспечивают в кладовых неудовлетворительные условия хранения мясopодуктов. Разность температур воздуха в грузовых объемах составляет $4...6^{\circ}\text{C}$, колебание температуры при автоматическом регулировании $3...4^{\circ}\text{C}$, разность температур между поверхностью батарей и воздухом $8...12^{\circ}\text{C}$.

- На всех судах применяемые схемы компоновки приборов охлаждения батарейного типа выполнены без учета гидравлических характеристик сети, что приводит к большим перепадам температуры их по - верхности.

- Системы охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха обеспечивают в кладовых температурный режим с меньшей неравномерностью, при этом скорость воздуха в грузовых объемах составляет $1...6$ м/с.

- Хранение мяса в течение 4-х месяцев при средней температуре воздуха в кладовых минус 12°C и эксплуатации судов в экваториальных широтах характеризуется ухудшением его качества. Фактическая усушка мяса на грузовых судах при загрузке кладовых на 30% составляет для говядины I к. 5,65%, для свинины мясной к. 3,44%, для баранины за 2 месяца хранения 5,2%, на пассажирских судах при загрузке кладовых на 100% соответственно - 3,4%, 2,2%, 4,8%.

- Анализ исследований показал, что величина усушки в основном зависит от теплопритоков к грузовому объему, что определяется районом эксплуатации судна. Наличие в кладовых системы охлаждения из экранных батарей, расположенных на переборках и подволоке, приводит к снижению усушки при прочих равных условиях.

Третья глава содержит результаты исследований по разработке способа хранения охлажденного мяса в РГС, экспериментально-аналитическое определение герметичности кладовых, рекомендации по оборудованию кладовых системами охлаждения, вентиляции и регулирования газового состава атмосферы.

Проведенные лабораторные исследования показали, что мясо говьяке можно хранить при температуре $-1\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, относительной влажности 90%, скорости воздуха $0,2...0,3$ м/с и концентрации $10\pm 0,5\%$ CO_2 в течение 46 суток. Натурные исследования были проведены в кладовой с батарейным охлаждением теплохода "П.Дыбенко" при эксплуата-

ции на Черном и Средиземном морях в летний период. Результаты исследований в количестве 3-х опытов приведены в таблице I.

Таблица I

Результаты исследований процессов хранения охлажденной говядины I категории в кладовой с РГС т/х "П.Дыбенко"

№ опыта	Температурный режим, °C							
	Поверхность батарей			Воздух в кладовой			Мясо в толще бедра	
	1 бата-рея	2 бата-рея	3 бата-рея	низ	сере-дина	верх	при поступ-лении	при хране-нии
1	-4,1	-3,0	-2,3	-1,2	-0,9	-0,4	5,2	-1,0
2	-4,3	-3,2	-2,4	-1,4	-0,8	-0,7	4,3	-1,2
3	-4,6	-3,7	-2,6	-1,5	-0,9	-0,7	2,6	-1,2

Продолжение табл. I

# опыта	Относи- тельная влажность воздуха в кладовой, %	Скорость воздуха у поверх- ности мяса, м/с	Газовый режим в кладо- вой, % CO_2	Срок хране- ния мяса, сутки	Фактическая усушка мяса за срок хранения, %	Средне- суточ ная, %	Степень загрузи клaдовой мясом, %
1	92 $\pm$ 90	0,1 $\pm$ 0,2	10 $\pm$ 1	38	5,4	0,14	70
2	92 $\pm$ 90	0,1 $\pm$ 0,2	10 $\pm$ 1	40	4,7	0,12	72
3	91 $\pm$ 90	0,1 $\pm$ 0,2	10 $\pm$ 1	36	5,1	0,14	56

Регулирование концентрации CO_2 производилось автомати - чески (рис. I).

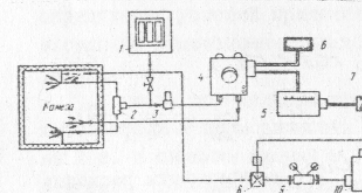


Рис. I. Схема регулирования и контроля концентрации CO_2 в кладовой т/х "П.Дыбенко":

1- газоанализатор ГХП-3; 2- тройник; 3- микрокомпрессор; 4- газоанализатор типа ГЭУК; 5- потенциометр ПСР-1; 6-показывающий % CO_2 прибор; 7- реле МКУ-48; 8- вентиль типа СВМ; 9- редуктор CO_2 ; 10- источник газа (баллоны с CO_2)

Исследования показали, что газовый состав атмосферы не является стабильным вследствие негерметичности кладовой.

Нами разработан экспериментально-расчетный метод определения герметичности кладовых, который позволяет, после несложного эксперимента, определить величину утечек или подсосов воздуха, производительность источника газа, а также запас газа-консерванта на судне для поддержания стабильного газового состава их атмосферы.

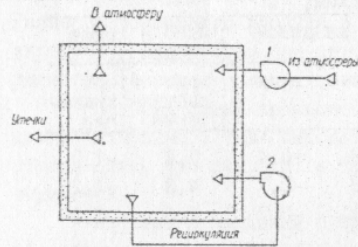


Рис.2 Схема газовой атмосферы в кладовой хранения охлажденного мяса. Вентилятор 1 служит для вентиляции кладовой наружным воздухом перед ее посещением, вентилятор 2 рециркуляционный.

Материальный баланс газообмена в кладовой по компоненту смеси (рис.2)

$$L_n \bar{z}_n d\tau + L_u \bar{z}_u d\tau - L_y \bar{z}_y d\tau = V_{кл} d\bar{z}, \quad (1)$$

где L_n, L_y, L_u - объем притоков воздуха в кладовую, утечек газовой смеси, производительности источника газа; $\bar{z}_n, \bar{z}_u, \bar{z}$ - концентрация компонента в приточном воздухе, в газовой смеси источника, в кладовой; $V_{кл}$ - объем кладовой.

При $P_{кл} > P_a$ из кладовой удаляется газовая смесь. Компенсация утечек происходит за счет добавки газа от источника L_u и подсосов воздуха L_n . При $P_{кл} < P_a$ в кладовую поступает количество воздуха L_n и газа от источника L_u , а удаляется газовая смесь расходом L_y . Из (1) получены выражения для изменения газового состава в кладовой:

$$\bar{z} = \frac{K_u}{K_y} + (\bar{z}_n - \frac{K_u}{K_y}) e^{-K_y \tau}, \quad P_{кл} > P_a, \quad (2)$$

$$\bar{z} = \frac{K_u}{K_n + K_u} + (\bar{z}_n - \frac{K_u}{K_n + K_u}) e^{-(K_n + K_u) \tau}, \quad P_{кл} < P_a, \quad (3)$$

где $K_n = L_n / V_{кл}$, $K_y = L_y / V_{кл}$, $K_u = L_u / V_{кл}$ - кратности расходов притоков, утечек и источника газа; $\bar{z}_n$ - начальная концентрация компонента.

Для расчета изменения газового состава атмосферы необходимо изменить время падения давления в кладовой от 100 до 50 Па. По полученным экспериментальным данным рассчитываются характеристики степени

герметичности кладовых B :

$$B_1 = \frac{V_{кл}}{\tau \sqrt{2RT}} \ln \frac{2P_n - P_a + 2\sqrt{P_n(P_n - P_a)}}{2P_k - P_a + 2\sqrt{P_k(P_k - P_a)}}, \quad P_{кл} > P_a, \quad (4)$$

$$B_2 = \frac{V_{кл}}{\tau \sqrt{2RT}} \left(\arcsin \frac{2P_k - P_a}{P_a} - \arcsin \frac{2P_n - P_a}{P_a} \right), \quad P_{кл} < P_a, \quad (5)$$

где τ - время падения или роста давления в кладовой от P_n до P_k ; Объемный расход утечек, притоков и производительность источника газа рассчитывается по формулам:

$$L_y = B_1 \sqrt{\frac{2(P_{кл} - P_a)}{\rho_{см}}}, \quad L_u = L_y \frac{\bar{z}_3 - \bar{z}_n}{\bar{z}_u - \bar{z}_n}, \quad P_{кл} > P_a, \quad (6)$$

$$L_n = B_2 \sqrt{\frac{2(P_a - P_{кл})}{\rho_{см}}}, \quad L_u = L_n \frac{\bar{z}_3}{\bar{z}_1 - \bar{z}_3}, \quad P_{кл} < P_a, \quad (7)$$

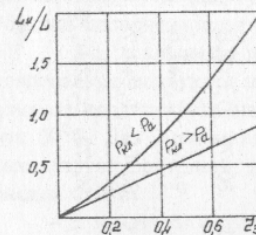


Рис.3 График зависимости относительной производительности источника газа-консерванта от заданной его концентрации в кладовой.

Расчеты показывают, что при $P_{кл} > P_a$ в кладовой для обеспечения стабильного газового состава требуется источник газа меньшей производительности.

Четвертая глава содержит исследования по разработке способа хранения охлажденного мяса с УФЛ, определение электрических и световых характеристик бактерицидных ламп при работе в помещениях с отрицательной температурой и разработку режима их работы, а также определение условий хранения и потерь от усушки охлажденного мяса в судовых провизионных кладовых, оборудованных типовыми системами охлаждения.

С целью определения температурно-влажностных условий продолжительности и периодичности облучения охлажденного мяса (говядины I к. и свинины мясной к.) для достижения срока хранения 25 суток были проведены лабораторные исследования в двух опытных установках. Исследования показали, что бактерицидные лампы ДБ-60 могут быть применены для хранения охлажденного мяса в кладовых с температурой воздуха до минус 5°C. Натурные исследования систем охлаждения провизионных кладовых грузовых и пассажирских судов были проведены с целью определения их пригодности для хранения ох-

Таблица 2
Результаты исследований процессов хранения охлажденного мяса в кладовых с УФЛ

Наименование объекта исследования	Тип приборов и методика	Степень экран- защиты от излучения тепловых потоков, %	Температура по- верхности при боров охлаждения, °C	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость воздуха, м/с	Степень загряз- нения мяса, %	Срок хране- ния мяса, сутки	Фактическая усушка мяса, среднесуточная %,	
									говядина, четвертины	свинина полутуши
I опытная установка	ребрист. батареи	30	-5±-3	-0,6±-1,4	95±90	0,08±0,1	40	22	0,3	
II опытная установка	то же	60	-6±-4	-0,8±-1,8	94±91	0,1	50	28	0,21	0,2±0,1
Т/х "В. Шукшин"	"-"	27	-10±-4	+1±-2	90±60	-	30	23	0,27	
Т/х "Буданешт"	гл. труб. батареи	54	-7±-4	+0,6±-1,4	92±90	0,1±0,2	40	25±30	0,2	
Т/х "Алиот"	воздухо- охладит.	-	-5,1±-2,9	-1,6±-2,1	80±70	0,6±0,8	40	28	0,32	
Т/х "А. Франко"	то же	-	-8±-5	+0±-2	94±90	1,7±3,6	70±80	21±26	0,35±0,32	
Т/х "Волга"	"-"	-	-25±-20	+2±-4	80±60	1,2±2,7	30	17	0,33	
Т/х "Айва- зовский"	"-"	-	-25±-20	+0±-3	90±75	0,32±0,75	30	21	0,33	

- 10 -

- 11 -

лажденного мяса с УФЛ. Результаты исследований приведены в табл. 2. Натурные исследования позволили установить условия, при которых возможно использование существующих провизионных кладовых для длительного хранения охлажденного мяса с РГС и УФЛ:

- Для равномерного распределения температур и концентрации CO₂ в кладовых высотой до 2,5 м следует устанавливать вентилятор с воздухо-распределительным устройством, который подает воздух из нижней части кладовой на подволок. Для уменьшения количества проникающей в кладовую теплоты на подволоке следует установить экран с образованием воздушного зазора.

- В кладовых, оборудованных воздушным охлаждением, для уменьшения скорости воздуха в районе размещения мяса следует применять устройства, позволяющие направлять большую часть циркулирующего воздуха на подволок и теплопередающие переборки. Направлять охлажденный воздух на палубу нецелесообразно, так как это приводит к большой неравномерности температуры по высоте кладовой.

- Для исключения подморозки мяса и уменьшения неравномерности температуры воздуха в кладовых температуру поверхности батарей следует поддерживать не ниже минус 7°C, воздухоохладителей - минус 10°C. Для уменьшения амплитуды колебаний температуры в кладовых следует применять терморегуляторы с дифференциалом не превышающим 0,5°C.

- В кладовую с РГС следует подавать CO₂ из баллонов через редуктор, понижающий давление до 120...150 кПа. Для уменьшения потерь газа-консерванта кладовую максимально герметизировать, системой рециркуляционной вентиляции создавать повышенное по сравнению с атмосферным давление.

- В кладовой с УФЛ бактерицидные лампы следует устанавливать на подволоке из расчета одна лампа ДБ-60 на 2...3 м³ её объема при высоте кладовой не более 2,5 м и режимом облучения: начальным в течение 3-х часов непосредственно после размещения мяса и последующим в течение 1 часа через каждые 11 часов.

Пятая глава содержит исследования и разработку воздушно-батарейной системы охлаждения для судовых кладовых охлажденного мяса, определение её теплообменных, аэродинамических и эксплуатационных характеристик, основы её расчета.

Основным элементом системы являются листотрубные батареи с касательным расположением ребра, устанавливаемые вдоль переборок в кладовой с образованием продухов, используемых в качестве воздушных каналов для интенсификации теплообмена. В продухе турбулизаторы-

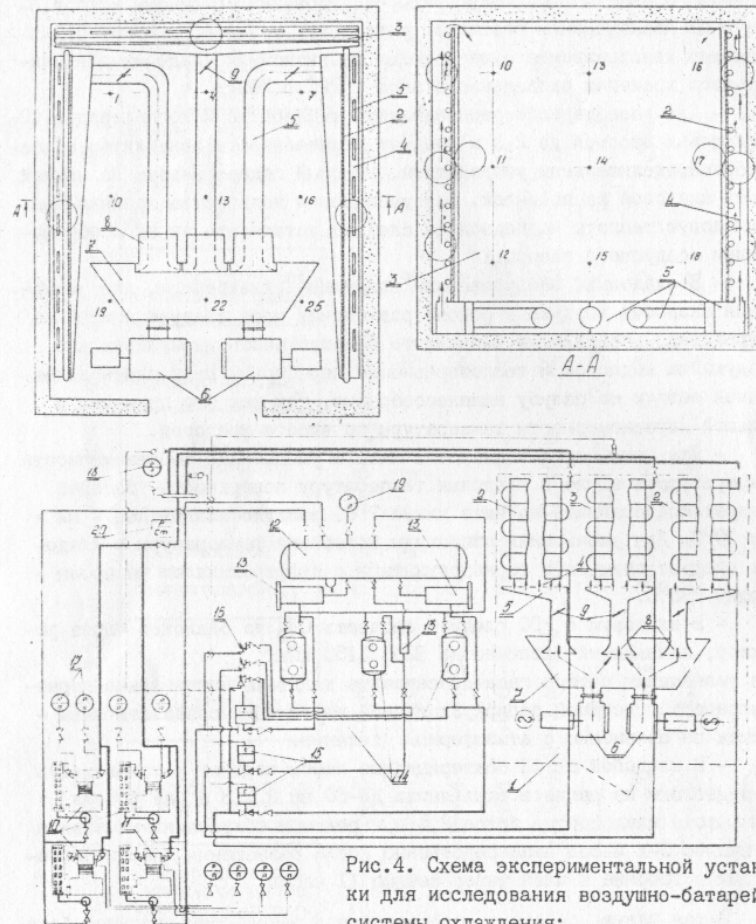


Рис.4. Схема экспериментальной установки для исследования воздушно-батареиной системы охлаждения:

1- камера; 2,3- батарея; 4- продух; 5- воздуховод; 6- вентилятор; 7- камера постоянного давления; 8- коллектор; 9- заслонка; 10- компрессор ФАК-1,5; 11- компрессор ФАК-1,1Е; 12- ресивер; 13- фильтр-осушитель; 14- расходомер; 15- терморегулирующий вентиль; 16- вентиль ручного регулирования; 17- манометр; 18,19- образцовый манометр; 20- автоматический дроссель давления АДД-20; ○ - размещение термопар на батареях и в продухах; 1...27- термопары в грузовом объеме

трубы, расположенные в потоке воздуха, интенсифицируют теплоотдачу батарей. Воздух в продух подается вентилятором через воздушно-распределительный канал с продольной щелью, расположенный под батареями. Охлажденный воздух из продуха подается настиляющим потоком на подволок и далее под действием гравитационных сил и частично напорно оmyвает грузовой объем. В кладовых большого объема для более равномерного распределения температуры и скорости воздуха возможно применение устройств равномерной воздухопраздачи, размещаемых на подволок. Схема экспериментальной установки для определения характеристик воздушно-батареиной системы охлаждения показана на рис.4. Исследования были проведены на листотрубных батареях с геометрическими характеристиками: наружный диаметр труб $d_n = 32$ мм; толщина листа (ребра) $\delta = 2$ мм; шаг труб $S = 120$ мм. Шаг труб батареи, выполняющих роль турбулизаторов и влияющих на формирование структуры потока, а следовательно и на теплоотдачу, выбирался из условия оптимизации процесса при $S = (3 \pm 6) d_n$; $d_n/d_s = 0,2 \dots 0,3$.

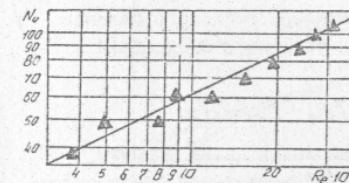


Рис.5. График зависимости

$$Nu = 0,73 Re^{0,48}$$

Экспериментальные данные для расчета коэффициента теплоотдачи батарей со стороны продуха (рис.5) получены при изменении температуры воздуха в продухе в пределах 253...296,5 К. За определяющую

температуру принята средняя температура воздуха в продухе, за определяющий размер - расстояние от стенки камеры до поверхности трубок батарей. Уравнение $Nu = 395 Re^{0,006}$, полученное для определения теплоотдачи батарей со стороны грузового объема, показало, что при скорости воздуха в кладовой до 1 м/с можно применять уравнения для свободной конвекции у вертикальной стенки.

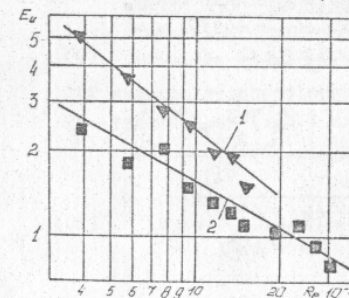


Рис.6. Графики зависимости

$$1 - E_u = 1975 Re^{-0,73} \text{ для продуха шириной } 0,025 \text{ м;}$$

$$2 - E_u = 58,1 Re^{-0,4} \text{ для продуха шириной } 0,05 \text{ м}$$

Экспериментальные данные для расчета аэродинамического сопротивления продуха (рис.6) получены

при толщине инея на батареях 0,005...0,007 м.

Эксплуатационные характеристики воздушно-батареи системы охлаждения были получены при удельных тепловых нагрузках 58...406 Вт/м², при этом температура кипения хладагента в трубах батарей составила -26...-1°C; разность между средней температурой воздуха в продухе и поверхностью батарей - соответственно 3...16,3°C; скорость воздуха в продухе - 0,8...10,4 м/с; в грузовой объем - 0,2...2 м/с. Коэффициент эффективности ребра батареи изменялся в пределах 0,86...0,79. Относительная влажность воздуха, включая технологические эксперименты (опытное хранение мяса), изменялась от 95 до 70%.

При проектировании воздушно-батареи системы в кладовых хранения охлажденного мяса следует определить температуру выходящего из продуха воздуха для исключения подморожки мяса.

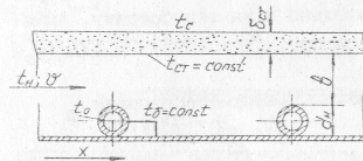


Рис.7. Схема участка продуха (к определению температуры охлаждаемого воздуха).
Уравнение теплового баланса для участка dx продуха:

$$v \delta \xi c_{\delta} \rho dt = K_{cr} (t_c - t_n) \ell dx + K_{\delta} (t_o - t_n) \ell dx \quad (8)$$

где: v - скорость воздуха; b, ℓ - ширина и длина продуха; ξ - коэффициент влаговываждения; c_{δ}, ρ - удельная теплоемкость и плотность воздуха; t_c, t_o, t_n, t_n - температура окружающей среды, испарения хладагента, воздуха в продухе, воздуха входящего в продух; K_{cr}, K_{δ} - коэффициенты теплопередачи ограждений кладовой и батарей со стороны продуха.

В результате решения (8) получена зависимость для изменения температуры воздуха по высоте продуха при допущении $\xi, c_{\delta}, \rho - const$.

$$t = \frac{K_{cr} t_c + K_{\delta} t_o}{K_{cr} + K_{\delta}} - \frac{K_{cr} t_c + K_{\delta} t_o - t_n (K_{cr} + K_{\delta})}{(K_{cr} + K_{\delta}) \exp \left[\frac{x (K_{cr} + K_{\delta})}{v \delta \xi c_{\delta} \rho} \right]} \quad (9)$$

Из (9) получено выражение для расчета скорости воздуха v , при которой конечная температура воздуха (t_n) не приведет к подмораживанию мяса

$$v = \frac{H (K_{cr} + K_{\delta})}{\delta \xi c_{\delta} \rho \ln \frac{K_{cr} t_c + K_{\delta} t_o - t_n (K_{cr} + K_{\delta})}{K_{cr} t_c + K_{\delta} t_o - t_n (K_{cr} + K_{\delta})}} \quad (10)$$

где H - высота батарей.

Анализ эффективности воздушно-батареи системы охлаждения выполнен в сравнении с аналогичной системой, но при расположении батарей трубами в грузовой объем, при $t_o = idem, t_n = idem, t_c = idem, t_{cp} = idem, H = idem, \Sigma Q = idem$ для обеих систем. На рис.8 приведены результаты расчетов эффективности систем для кладовых объемом 10...35 м³ и диапазона определяющих характеристик: расход воздуха на 1 м длины батарей $V = 0,1...0,3 \frac{м^3}{с}$, ширина продуха $b = 0,02...0,15$ м; температура входящего в продух воздуха $t_n = 0^\circ C$; температура среды $t_c = 30^\circ C$; температура испарения $t_o = -5, -10^\circ C$; высота батарей $H = 1,68$; $F_{rp}/F_p = 1,65$.

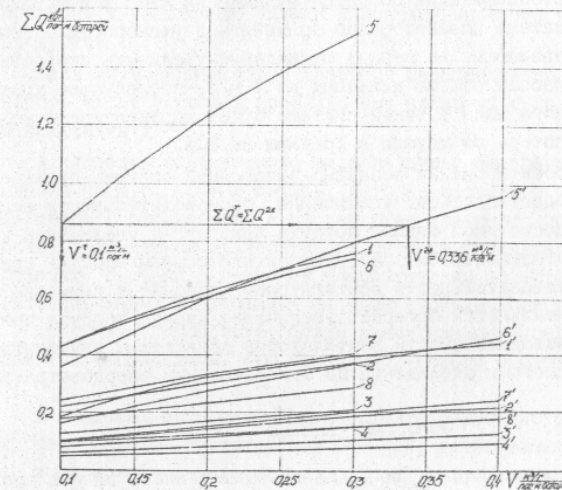


Рис.8. К определению энергетической эффективности воздушно-батареи системы охлаждения

- линии 1-8 - расположение труб в продухе;
- линии 1'-8' - расположение труб в грузовой объем;
- значения линий: приведены в таблице:

$t_o, ^\circ C$	$b, м$	0,02	0,05	0,10	0,15
-5		1,1'	2,2'	3,3'	4,4'
-10		5,5'	6,6'	7,7'	8,8'

Анализ эффективности показал, что для равного теплосъема при расположении батарей трубами в продух требуется в 3 раза меньшее количество воздуха.

В результате исследований установлено :

- Ширина продуха, равная 0,05 м, обеспечивает эффективный режим эксплуатации воздушно-батарейной системы при хранении охлажденного мяса в кладовых высотой до 2,5 м и объемом до 50 м³. При скорости воздуха в кладовых 0,2 м/с разность температуры по высоте не превышает 0,2...0,3°C.

- Для интенсификации процесса охлаждения мяса в воздушно-батарейной системе целесообразно применять двухскоростные вентиляторы, позволяющие на период охлаждения увеличить скорость воздуха в грузовом объеме кладовых до 2 м/с, последующее хранение охлажденного мяса в такой системе будет характеризоваться уменьшением потерь от усушки в среднем на 30%.

- При проектировании воздушно-батарейной системы охлаждения следует руководствоваться: увеличение производительности вентиляторов при постоянной ширине продуха приводит к увеличению холодопроизводительности батарей; увеличение ширины продуха при постоянной производительности вентиляторов приводит к снижению холодопроизводительности батарей; увеличение ширины продуха при постоянной производительности вентиляторов приводит к улучшению характеристик системы охлаждения по относительным энергозатратам.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для увеличения срока хранения охлажденного мяса в провизионных кладовых судов следует :

- мясо в полутушах и четвертинах хранить в подвесе при температуре 0...-2°C, относительной влажности 90...95% и скорости воздуха 0,1...0,2 м/с;

- в кладовых с РГС поддерживать газовый состав атмосферы с 10±1% содержанием диоксида углерода, при этом срок хранения говядины I категории составит 35 суток;

- в кладовых с УЭД установить на подволоке бактерицидные лампы из расчета 1 лампа ДР-60 на 2...3 м³ её грузового объема (электрической мощностью 30...20 Вт/м³) так, чтобы облучать всё хранящееся мясо с режимом облучения начальным в течение 3-х ча-

сов и последующим в течение I-го часа через каждые II часов, при этом срок хранения говядины I категории и свинины мясной категории составит 25 суток.

2. Полученные данные по температурно-влажностным условиям хранения, усушке и изменению качества мясopодуKтов в провизионных кладовых судов показали недостаточную пригодность применяемых систем охлаждения для хранения охлажденного и замороженного мяса. Температурный режим в кладовых с батарейным охлаждением поддерживается со значительными колебаниями и неравномерностью, при воздушном охлаждении значительно увеличена скорость воздуха, что приводит к увеличению усушки и сокращению срока хранения мясopодуKтов.

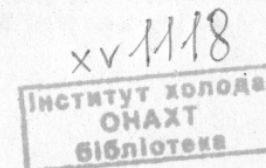
3. Для улучшения условий хранения мясopодуKтов и уменьшения потерь их от усушки в провизионных кладовых судов целесообразно применять :

- в кладовых охлажденного мяса воздушно-батарейную систему охлаждения по а.с. СССР № 501254, которая позволяет интенсифицировать процесс охлаждения, а последующее хранение производить при более равномерной температуре и скорости воздуха в их грузовых объемах. Система охлаждения энергетически эффективна, так как интенсификация теплообмена за счет турбулизации потока воздуха в продухах способствует более значительному увеличению коэффициентов теплоотдачи, чем аэродинамического сопротивления в них;

- в кладовых замороженного мяса батарейную систему охлаждения, состоящую из листотрубных батарей, размещаемых на переборках и подволоке с максимальной экранизацией наружных теплопритоков. В качестве листотрубных батарей возможно применение батарей экранного типа БЭН.

Основные положения диссертации отражены в работах :

1. В.Стефанович, Г.Дейнего, Б.Комарницкий. Хранение на судах охлажденного мяса // Морской флот, 1971, № 5, с.30-31.
2. Стефанович В.В., Дейнего Г.П., Мицевич Э.П. Экспериментальная установка для определения влияния масла на работу судовой холодильной установки // Материалы научной конференции молодых ученых Одесского института инженеров морского флота, 1971, вып. II, с. 205-207.



3. Стефанович В.В., Дейнего Г.П. Переоборудование системы охлаждения судовой провизионной камеры для длительного хранения охлажденного мяса // Материалы научной конференции молодых ученых Одесского института инженеров морского флота, 1971, вып. II, с. 208-212.
4. Стефанович В.В., Дейнего Г.П., Комарницкий Б.В., Проценко В.К. Хранение охлажденного мяса в среде углекислого газа в судовых провизионных камерах // Мясная индустрия СССР, 1972, № II, с. 26-27.
5. Стефанович В.В., Дейнего Г.П., Комарницкий Б.В. Хранение охлажденного мяса в судовых провизионных камерах с применением бактерицидных ламп // Холодильная техника, 1973, № 9, с. 44-45.
6. Стефанович В.В., Дейнего Г.П. Системы охлаждения судовых провизионных камер // Холодильная техника, 1976, № 4, с. 26-30.
7. Стефанович В.В., Дейнего Г.П. Метод длительного хранения мяса при помощи бактерицидных ламп // Холодильная техника, 1976, № 9, с. 34-36.
8. Стефанович В.В., Дейнего Г.П., Толстоноженко А.В. Гигиеническая оценка охлажденного мяса длительного хранения в судовых провизионных камерах с применением бактерицидных ламп // Тезисы докладов УП Международного симпозиума по морской медицине.- М.: Научно-исследовательский институт гигиены водного транспорта, 1976, с. 93-94.
9. Стефанович В.В., Дейнего Г.П. Микрофлора охлажденного мяса длительного хранения при помощи бактерицидных ламп // Известия вузов. Пищевая технология, 1977, № 10, с. 142-146.
10. Стефанович В.В., Дейнего Г.П., Комарницкий Б.В. Воздушно-батареяная система охлаждения судовых провизионных камер // Судостроение, 1977, № 6, с. 20-21.
11. Дейнего Г.П., Комарницкий Б.В. Определение степени герметичности судовых провизионных камер при хранении охлажденного мяса в газовой среде // Холодильная техника и технология. Киев, Техника, 1982, вып. 34, с. 96-102.
12. А.с. 399691 (СССР). Фреоновая холодильная установка/Э.П.Мицкевич, В.В.Стефанович, Г.П.Дейнего // Открытия. Изобретения, 1973, № 39.
13. А.с. 501254 (СССР). Холодильная камера для хранения пищевых продуктов/Г.П.Дейнего, Б.В.Комарницкий, В.В.Стефанович // Открытия. Изобретения, 1976, № 4.

Дейного

