

Автор.
Ц. 49

Входящий № 5349
15/11-67

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Смирнов
16/11-67
15/11-67
15/11-67

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

А. М. ЧЕРНОЗУБОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕР ХРАНЕНИЯ МОРОЖЕНОГО МЯСА, ОБОРУДОВАННЫХ ПАНЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

(специальность № 194—Холодильные машины,
машины и аппараты глубокого охлаждения
и кондиционирования)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

В. И. Седневу

А. М. Чернозубов
15/11-67

Переучет 1984

ОДЕССА — 1967

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

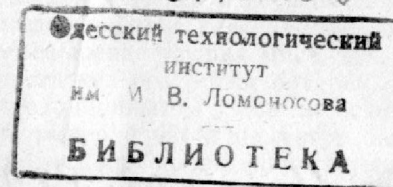
А. М. ЧЕРНОЗУБОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕР ХРАНЕНИЯ
МОРОЖЕНОГО МЯСА,
ОБОРУДОВАННЫХ ПАНЕЛЬНОЙ
СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

(специальность № 194—Холодильные машины,
машины и аппараты глубокого охлаждения
и кондиционирования)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

v 0.0.1326 ✓



ОДЕССА — 1967

ОНАХТ Автореф
Исследование камер х



v001326

14
v001326
Автореф Чернозубов
И-49 Исследования...
9,00

Д.И.И., проф. Тейтенову П. Н.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой и холодильной промышленности.

Научный руководитель — доктор технических наук, проф. Чуклин С. Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, проф. Мельцер Л. З.

Доктор технических наук Шеффер А. П.

Ведущее предприятие — ГИПРОХОЛОД

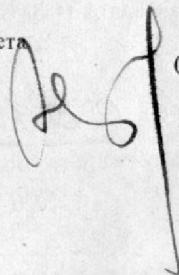
Автореферат разослан 13. ноября 1967 г.

Защита диссертации состоится 18. декабря 1967 г. на заседании совета Одесского технологического института пищевой и холодильной промышленности: г. Одесса, ул. П. Великого, 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять в Совет института по адресу: г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3.

Ученый секретарь Совета
доцент

 (ЖАДАН В. З.)

Цех. № 03-839

В последние годы в СССР резко увеличилась емкость распределительных холодильников и темпы их строительства остаются очень высокими.

В связи с этим решение вопросов обеспечения оптимальных условий хранения в камерах строящихся холодильников является актуальной задачей, решение которой в значительной степени зависит от рационального выбора их охлаждающей системы.

Несмотря на большой опыт, накопленный при эксплуатации камер хранения, и внимание, которое уделялось и уделяется выбору систем охлаждения, единых рекомендаций пока нет.

Работами Тухшнайда М. В., Чуклина С. Г., Головкина Н. А., Чинова Г. Б., Шеффера А. П., Рютова Д. Г., Гоголина А. А. и др. установлено, что для создания оптимальных условий хранения необходимо учитывать целый ряд факторов, влияющих на сроки и качество хранимого мяса.

Однако охлаждающие системы из оребренных батарей, применяющиеся на современных холодильниках, не отвечают предъявленным технологическим требованиям: концентрированное расположение приборов охлаждения создает неравномерное температурное поле в камерах, осаждение инея резко снижает их теплопередающую поверхность, естественные потери мяса при длительном хранении значительны. В первую очередь это относится к верхним этажам многоэтажных и одноэтажным холодильникам.

Поэтому на распределительных холодильниках для сокращения естественной убыли мяса применяется ряд мер, к числу которых, в первую очередь, относятся ледяное экранирование и ледяное глазирование поверхности штабелей мяса.

Несмотря на уменьшение усушки мяса, эти меры не устраняют других недостатков ребристых батарей, требуют дополнительных эксплуатационных и энергетических затрат, сокращают емкость камер и часто не могут быть использованы вообще. Например, при проведении частых грузовых операций, что характерно для распределительных холодильников, в камерах верхних этажей ледяные укрытия разрушаются и эффект этой меры резко падает.

С. Г. Чуклиным была предложена и теоретически разработана панельная система охлаждения, сущность которой заключается в том, что внешние теплопритоки не поступают в камеру, а воспринимаются приборами охлаждения, расположенными около теплопередающих ограждений. Наиболее рациональной конструкцией охлаждающих батарей для такой цели оказались листотрубные стальные батареи («панели»). Они представляют собой гладкие трубы с приваренным к ним стальным листом. Диаметр труб, шаг между ними и толщина листа выбираются на основе технико-экономических расчетов. В настоящее время для условий холодильников приняты такие конструктивные размеры: диаметр труб $38 \times 3,0$ мм, шаг между ними 300 мм, толщина ребра $1,4 \div 1,8$ мм, расположение ребра касательное.

Лабораторные исследования этой системы, проведенные Д. Г. Никульшиной и Г. К. Мнацакановым, подтвердили ее существенные достоинства, полученные теоретически: равномерное температурное поле в объеме камер, сокращение наружных теплопритоков за счет воздушных промежутков между батареями и ограждениями — «продухов», большая доля радиационного теплообмена батарей со стороны камеры, уменьшение температурного напора между воздухом камеры и холодильным агентом и др.

Однако лабораторные исследования не могли дать возможности для полного суждения об эффективности панельной системы охлаждения, поскольку условия эксплуатации промышленных камер во многом отличаются от модельных: не учитывалось влияние влагообмена на теплопередачу батарей, не было показателей по естественной убыли мяса при длительном хранении, температурные распределения по объемам камеры и продухов проверялись при малых геометрических размерах, не учитывалось влияние колонн на равновесную температуру воздуха и др.

Поэтому целью данной работы явилось получение в производственных условиях основных теплотехнических, технологических, эксплуатационных и технико-экономических показателей панельной системы охлаждения и разработка рекомендаций по ее внедрению на распределительных холодильниках.

В главе I изложены задачи, характеристика объектов и методики экспериментальных исследований панельной системы охлаждения на распределительных холодильниках.

В главе II приведены результаты испытаний опытной камеры с панельной системой Львовского холодильника, а также сравнительные характеристики аналогичной камеры с ребристыми батареями.

В главе III освещены результаты испытаний двух опытных камер Сочинского холодильника, работавших при подключении только потолочных батарей и потолочных в сочетании с пристенными льдотрубными.

В главе IV дан упрощенный метод теплового расчета панельных систем с касательным расположением ребра для различных искомых величин, приведена упрощенная методика определения потерь мяса при длительном хранении на основе расчетных и замеряемых исходных данных.

В главе V рассматриваются технико-экономические показатели панельной системы охлаждения в сравнении с двумя вариантами ребристых батарей при использовании ледяных укрытий. Даны некоторые рекомендации по проектированию и монтажу панельных систем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами испытаний явились камеры верхнего этажа Львовского и Сочинского распределительных холодильников.

Во Львове, в целях получения сравнительных характеристик камер с панельной системой охлаждения и ребристыми батареями были выбраны две однотипные камеры площадью пола 400 м^2 , условной емкостью по 500 тонн: камера № 44 оборудована панельной системой, камера № 45 — ребристыми потолочными и пристенными батареями.

Обе камеры были расположены в совершенно одинаковых условиях по отношению к внешней среде и другим камерам холодильника. Подача холодильного агента в батареи и отсос паров из них были идентичны.

В камере № 44 панельными батареями потолок был экранирован на 60%, наружные стены — на 75%, теплопередающая поверхность потолочных батарей— 550 м^2 , пристенных— 250 м^2 .

Камера № 45 была оборудована оребренной однорядной пристенной батареей из 14 труб по высоте (420 м^2) и двухрядной потолочной из 21 трубы (330 м^2).

Целью проведения испытаний опытной камеры с панельной системой Львовского холодильника явилось:

- 1) определение тепловых нагрузок пристенных и потолочных батарей;
- 2) определение коэффициентов теплоотдачи от воздуха камеры и продухов к поверхности батарей;
- 3) определение температурного распределения по объему камеры;
- 4) определение температурных распределений в пристенных и потолочных продухах;
- 5) определение относительной влажности воздуха камеры и естественных потерь мяса при длительном хранении;
- 6) определение эксплуатационных характеристик камеры (рост инея, проведение оттайки батарей, замасливание системы, использование грузового объема и др.);
- 7) сравнение тепло-влажностных показателей камер с панельной системой охлаждения и ребристыми батареями.

Была разработана соответствующая методика, предназначенная для обработки результатов испытаний в условиях пустой и загруженной мясом камеры. В случае пустой камеры для имитации внутренних теплопритоков служили электрические нагреватели, переменная мощность которых измерялась лабораторным ваттметром.

На линиях отсоса паров аммиака из пристенных и потолочных батарей были установлены электрогрелки и мерные бачки. Последние были подключены и на подаче аммиака в батареи, поэтому количество испарившегося холодильного агента постоянно фиксировалось. Электрогрелки служили дублирующим средством определения расхода аммиака: до и после них были установлены термомпары, а давление измерялось ртутными мановакуумметрами. По расходу и известной величине теплоты парообразования аммиака определялись тепловые нагрузки батарей.

Температуры воздуха в продухах, камере и на поверхности батарей измерялись медно-константановыми термомпарами. Для этого использовались: низкоомный потенциометр 1 класса типа Р-306, нормальный элемент 2 класса, сухие элементы типа БНС-МВД-500. Нуль-прибором служил зеркальный гальванометр типа М 17/5. Точность замера температур составляла $\pm 0,1$ град.

Относительная влажность воздуха измерялась с помощью самопишущих недельных гигрографов, предварительно пове-

ренных при температуре камеры, и дистанционных самопишущих приборов ДВИП.

Целью проведения испытаний камер Сочинского холодильника явилось определение температурных, влажностных и технологических показателей панельной системы охлаждения в условиях южной зоны СССР при двух вариантах ее работы:

- 1) включены стальные потолочные и трубчато-ледяные пристенные батареи;
- 2) включены только стальные потолочные батареи. По первому варианту работала охлаждающая система камеры № 41 (теплопередающая поверхность 900 м^2), по второму — камеры № 42 (теплопередающая поверхность 555 м^2).

Льдотрубные пристенные батареи представляли собой шланговые батареи из труб $\varnothing 57 \times 3,5$ мм с шагом 300 мм, к которым прикреплялся брезент, а затем намораживался слой льда толщиной 30—60 мм.

Эти исследования дополнили результаты Львовских испытаний, позволили сделать сравнительную оценку различных видов панельной системы и выбрать оптимальные конструкции пристенных и потолочных батарей.

Определение усушки мяса при длительном хранении производилось путем точного взвешивания партий мяса различного вида и категорий весом в несколько десятков тонн через 3—6 месяцев при участии специально создаваемых комиссий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Теплотехнические испытания панельной системы охлаждения проводились в теплое время года — с апреля по октябрь 1965—66 г.г.

Длительные исследования и опытная эксплуатация камер в условиях, присущих распределительным холодильникам, дали следующие результаты:

1. Распределение температур в объеме камеры отличалось большой стабильностью и равномерностью: максимальное изменение температур по высоте не превышало 1,2 град при $5 \div 7$ град. для аналогичной камеры с ребристыми батареями.
2. Температурный напор между холодильным агентом и воздухом камеры не превышал $5 \div 7$ град., что на 1—2 град. меньше, чем для ребристых батарей.

3. В режимах хранения температура конца ребра панельной батареи оставалась ниже температуры воздуха в камере, что свидетельствует о полном гашении наружных теплопритоков. Температурный перепад по высоте ребра составлял $1,0 \div 3,0$ град. в зависимости от величины тепловой нагрузки.

4. Опытные значения коэффициентов теплоотдачи от воздуха камеры к батареям составили:

4 Вт/м ² град	при	$q = 16$ Вт/м ²
5 Вт/м ² град	при	$q = 22$ Вт/м ²
6 Вт/м ² град	при	$q = 26$ Вт/м ²

В пристенном продухе наблюдалась естественная конвекция, свойственная вертикальным воздушным промежуткам. Среднее значение коэффициента теплоотдачи здесь 4 Вт/м² град.

В потолочном продухе теплообмен осуществлялся в основном радиационным путем. Благодаря наличию колонн и неэкранированных участков в нем была стесненная конвекция воздуха. Значение приведенного коэффициента теплоотдачи 3 Вт/м² град.

Полученные значения коэффициентов теплоотдачи могут быть рекомендованы для тепловых расчетов панельных систем.

5. Дополнительное термическое сопротивление продухов снижало величины наружных теплопритоков на $7 \div 15\%$.

6. Значение относительной влажности воздуха во всех испытываемых камерах с панельной системой было $96\% - 98\%$.

7. Величины естественных потерь были следующими: в камере с панельной системой Львовского холодильника в среднем для всех видов и категорий мяса — в 2,5 раза меньше нормативных; в камере с ребристыми батареями Львовского холодильника в среднем для всех видов и категорий мяса — в 1,25 раза меньше нормативных;

в камере с панельной системой Сочинского холодильника при работе только потолочных батарей для говядины I категории — в 6 раз меньше нормативных;

в камере с панельной системой Сочинского холодильника при работе потолочных и пристенных батарей для говядины I категории — нет потерь.

В приложении диссертации приведены соответствующие акты комиссий, подтверждающие эти данные.

8. Иней, осаждавшийся на поверхности панельных батарей, со стороны камеры имел рыхлую структуру и легко осы-

пался от толчков при проведении грузовых операций. Поэтому рост его практически прекращался по достижении толщины $30 - 50$ мм. В случае необходимости оттайка батарей производилась обычным способом.

Со стороны продухов толщина инея была равна $5 - 10$ мм после годичной эксплуатации камеры.

9. Загрузка камер мясом производилась вплотную к батареям, поскольку они представляют собой жесткую конструкцию, а их развернутая поверхность обеспечивает равномерную циркуляцию воздуха.

УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕПЛОВЫХ И ВЛАЖНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ КАМЕР С ПАНЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

Существующая методика теплового расчета панельных систем с касательным расположением ребра сложна, громоздкость затрудняет ее применение при проектировании и, кроме того, большое количество вычислительных операций ведет к увеличению погрешностей.

Поэтому в работе предложен упрощенный метод расчета.

В качестве исходных данных приняты: температура наружного воздуха — T_n , температура воздуха в камере — T_3 , суммарные внутренние теплопритоки камеры — Q_3 , наружный диаметр труб батарей — d_n , толщина и коэффициент теплопроводности ребра — δ_p, λ_p , шаг между трубами батарей — S , поверхность ограждений, экранированных панельными батареями — F_n , поверхность батарей со стороны продухов — F_2 ; поверхность батарей со стороны камеры — F_3 ; приведенный коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности трубы к холодильному агенту — α_1 , приведенный коэффициент теплоотдачи от воздуха продуха к батарее — α_2 , приведенный коэффициент теплоотдачи от воздуха камеры к батарее — α_3 , коэффициент теплопередачи ограждений, экранированных панельными батареями — k_n , общая длина труб панельных батарей — L .

Искомой величиной является равновесная температура хладоагента (хладоносителя) — T_1 .

Путем преобразований систем уравнений теплового баланса получен простой и удобный метод расчета панельных систем:

эффективность ребра:

$$E = \frac{thmh}{mh} \quad \text{где } m = \sqrt{\frac{\alpha_2 + \alpha_n}{\delta_p \lambda_p}}, \quad h = \frac{S}{2}$$

средняя температура ребра

$$T_5 = T_3 - \frac{Q_1}{\alpha_3 F_3 \left(1 + \frac{\pi d_n}{SE}\right)}$$

температура воздуха продуха

$$T_2 = \frac{K_n F_n T_n + \alpha_2 F_2 T_5}{K_n F_n + \alpha_2 F_2}$$

наружная тепловая нагрузка панельных батарей;

$$Q_2 = K_n F_n (T_n - T_2)$$

общая тепловая нагрузка батарей;

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

равновесная температура холодильного агента (хладоносителя) в батареях;

$$T_1 = T_3 - \frac{T_3 - T_5}{E} - \frac{Q_1}{\pi d_n \alpha_1 L}$$

В реферируемой работе приведена аналогичная методика для случая, когда при заданной температуре испарения определяется значение равновесной температуры воздуха в камере T_3 .

Для установления количественных зависимостей по определению потерь мяса при длительном хранении в камерах с панельной системой охлаждения предложена методика, в основу которой положены разработки С. Г. Чуклина для условий камер хранения мороженных грузов. Даны уточненные зависимости по определению равновесной относительной влажности воздуха в камере.

По этой методике произведены расчеты, в которых за исходные данные приняты эксплуатационные характеристики

испытывавшихся камер. Фактические и расчетные величины усушки мяса имеют хорошую сходимость, что свидетельствует о правильности выбранного метода.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПАНЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

На основе накопленного опыта по изготовлению, монтажу и эксплуатации в работе получены технико-экономические показатели для камер верхнего этажа типового многоэтажного распределительного холодильника емкостью 10000 тонн, оборудованных панельной системой охлаждения и ребристыми батареями.

Количественными критериями для определения эффективности сравниваемых систем явились: весовые характеристики, стоимость изготовления и монтажа, сокращение естественной убыли мяса, использование грузового объема камер, энергетические характеристики, эксплуатационные расходы.

Для камер верхнего этажа металлоемкость панельной системы на 12,4÷45,5% больше, чем для ребристых батарей соответственно из труб $\varnothing 57 \times 3,5$ мм или $\varnothing 38 \times 2,25$ мм. Капитальные затраты панельной системы при этом примерно на 30% выше таковых для ребристых батарей, поскольку промышленный способ изготовления панелей еще недостаточно освоен.

Сокращение усушки мяса при панельной системе принято в 2,5 раза меньше норм для средней зоны СССР, при применении ледяных укрытий в камерах с ребристыми батареями — в 1,4 раза.

При устройстве ледяных укрытий штабелей емкость камер сокращается примерно на 6%, а ежегодный расход электроэнергии и ткани резко увеличивает эксплуатационные затраты камер с ребристыми батареями.

Поэтому, несмотря на увеличенные первоначальные затраты, срок окупаемости панельных систем для верхних этажей составляет не более полугода.

В реферируемой работе приведены также некоторые рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу панельных систем охлаждения для одно- и многоэтажных холодильников.

Выводы

В работе получены следующие результаты.

1. Панельная система охлаждения обеспечивает в камерах хранения устойчивое равномерное температурное поле с изменением по объему не более 1,2 град. независимо от величины наружных теплопритоков.

2. Температурная разность между холодильным агентом и воздухом камеры составляет 5—8 град, что дает возможность применять одноступенчатые холодильные машины при температуре камеры — 18°C.

3. Получены опытные значения коэффициентов теплоотдачи от воздуха продуктов и камеры к поверхности панельных батарей. Даны рекомендации по их расчетному определению.

4. Относительная влажность воздуха в камерах с панельной системой поддерживается в пределах 96—98% при колебаниях по объему не более 1—2%.

5. Наружные теплопритоки для камер верхних этажей многоэтажных холодильников оборудованных панельной системой, снижаются на 7÷15% по сравнению с ребристыми батареями за счет дополнительного термического сопротивления продуктов.

6. Предложена упрощенная методика теплового расчета панельных систем охлаждения с касательным расположением ребра.

7. Естественные потери мяса при длительном хранении в камерах с панельной системой в 2,5 ÷ 6 раз меньше нормативных.

8. Разработана упрощенная методика определения усушки мороженого мяса в камерах при длительном хранении.

9. Оттайка панельных батарей не требуется, поскольку толщина инея не превышает 30—50 мм. Теплопередающая поверхность батарей при этом не уменьшается и равновесная температура воздуха камеры не повышается. Иней, опадающий с панелей, создает условия для увеличения относительной влажности воздуха и сокращения усушки мяса.

10. Грузовой объем камер с панельной системой охлаждения используется полностью, так как загрузка продуктов может производиться вплотную к батареям, а проходы для проведения оттайки не требуются.

11. Техничко-экономические расчеты показывают, что дополнительные капитальные затраты на панельную систему быстро окупаются.

12. На основании полученных результатов представилось возможным дать рекомендации по внедрению этой системы в камеры длительного хранения мороженого мяса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Чуклин С. Г., Чернозубов А. М., Розенберг А. С. Сравнительные испытания камер хранения с панельной системой и ребристыми батареями. Холодильная техника и технология, вып. 4, Киев, «Техніка», 1967 г.

2. Чернозубов А. М. Исследование и опытная эксплуатация камер хранения с панельной системой охлаждения Львовского и Сочинского холодильников. Тезисы докладов на Всесоюзной межвузовской конференции «Проблемы интенсификации холодильного и технологического оборудования». Ленинград, 1966.

3. Чернозубов А. М. Результаты экспериментального исследования панельной системы охлаждения камер хранения распределительных холодильников. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции «Новые холодильные машины и области их применения». Одесса, 1967 г.

4. Chuklin S. G., Avdeyev E. S. and Chernozubov A. M. Test results on panel cooling system for refrigerated vessels. XII International congress of refrigeration, tome XLVII, Madrid, 1967.

Результаты работы доложены автором:

1. На Всесоюзной конференции по современным системам и приборам охлаждения и их внедрению в народное хозяйство СССР в 1965 г. (г. Одесса).

2. На Всесоюзной конференции по проблемам интенсификации холодильного и технологического оборудования в 1966 г. (г. Ленинград).

3. На Всесоюзной конференции по новым холодильным машинам и областям их применения в 1966 г. (г. Одесса).

4. На XXXV и XXXVI отчетных научных конференциях ОТИПХ в 1966, 1967 г.г. (г. Одесса).