

10

1976

M

ARCHIVE

СССР

Исследование кинетики теплоотвода при замораживании мясных продуктов в блоках

Канд. техн. наук В. ФЕДОРОВ, А. МАЗУРЕНКО
Киевский технологический институт
пищевой промышленности
Канд. техн. наук А. ИОНОВ, О. БОГОЛЮБСКИЙ
Калининградский технический институт
рыбной промышленности и хозяйства
С. МЕКЕНИЦКИЙ, В. ХРОМОВ
Всесоюзный научно-исследовательский институт
мясной промышленности

При расчете охлаждающих приборов морозильных установок тепловую нагрузку определяют исходя из средней интенсивности теплоотвода за весь период замораживания продуктов. При этом процесс замораживания условно делят на три периода: охлаждение до криоскопической температуры, кристаллообразование и переохлаждение.

В морозильных установках непрерывного действия тепловую нагрузку считают постоянной и определяют ее делением общего количества тепла, отводимого от продукта, на продолжительность замораживания.

В установках периодического действия неравномерность тепловой нагрузки учитывают, увеличивая количество тепла, отводимого при термической обработке продукта, на 30%. При расчете можно также исходить из изменения сопротивления теплопереходу от замораживаемого продукта к охлаждающей среде и движущей силы процесса — температурного напора между замораживаемым продуктом и охлаждающей средой, который в начальный период максимальный [1].

Если предположить, что при замораживании в плиточном морозильном аппарате суммарное сопротивление ΣR_i (кондуктивные сопротивления слоев продукта и плиты, контактное сопротивление на границе продукт — плита, конвективное сопротивление теплоотдаче от плиты к холодильному агенту) не изменяется за время процесса τ , то интенсивность теплоотвода $q(\tau)$ должна быть качественно одинаковой с функцией $\Delta t(\tau)$ в соответствии с соотношением [2].

$$q(\tau) = \frac{\Delta t(\tau)}{\Sigma R_i} \quad (1)$$

Исследование кинетической зависимости проводили на модели трехлитровой секции, подключенной к экспериментальной холодильной установке, и роторном морозильном агрегате АРСА-3-15.

В процессе экспериментов использовали малогабаритные и малоинерционные термоэлектрические датчики теплового потока следующих характеристик: рабочая температура минус 40—50°C, рабочий коэффициент

100—300 Вт/(м²·мВ), инерционность менее 10 с, максимальная погрешность $\pm 5\%$, толщина 1,8 мм, диаметр 14—25 мм.

Датчики теплового потока помещали в центре нижней и верхней поверхностей блоков, в местах хорошего контакта с морозильными плитами.

Температуру продукта в процессе замораживания измеряли медьконстантановыми термопарами. Показания датчиков теплового потока и термопар записывали потенциометрами типа КСП.

Холодильный агент (фреон-22) подавали в модель герметичным центробежным насосом производительностью $1 \cdot 10^{-3}$ м³/с.

Расход циркулирующего холодильного агента измеряли, помещенной на нагнетательном трубопроводе насоса, стандартной камерной диафрагмой с дифманометром ДТ-150.

Температуру фреона на входе и выходе из морозильных плит определяли с помощью лабораторных термометров с ценой деления 0,2 К, давление холодильного агента на входе и выходе из морозильных плит — образцовыми манометрами МО с ценой деления 20 кПа, падение давления в плитах — ртутным дифманометром ДТ-150.

За фазовым состоянием холодильного агента на входе и выходе из модели наблюдали через смотровые стекла на соответствующих трубопроводах.

Расход фреона регулировали занорным нагнетательным вентиляем циркуляционного насоса.

Каждый опыт повторяли 3—5 раз.

При исследованиях теплоотвода в роторном агрегате АРСА-3-15 (Полтавский мясокомбинат) температура аммиака, подаваемого насосом производительностью $8,3 \cdot 10^{-3}$ м³/с, на входе в агрегат составляла минус 36—минус 38°C.

Блоки говядины I категории толщиной 75—77 мм замораживали от температуры 10—15°C до температуры в центральном слое блока минус 12°C.

Опытные значения среднего теплового потока, в Вт/м², при различных температурах фреона на входе в морозильные плиты (давление подпрессовки продукта 5 кПа) приведены в табл. 1.

При экспериментах, проведенных на модели, расход фреона был равен $0,63 \cdot 10^{-3}$ м³/с, при этом холодильный агент кипел в морозильных плитах и давление фреона на выходе соответствовало давлению насыщения.

Из табл. 1 видно, что понижение температуры кипения фреона и соответственно увеличение температурного напора значительно повысили значения удельных тепло-

Таблица 1

Температура фреона, °С	Верхняя поверхность блока		Нижняя поверхность блока	
	начало процесса	конец процесса	начало процесса	конец процесса
-35	2900	730	2600	670
-40	3400	740	3000	710

вых потоков, проходящих через поверхности блоков в начальный период замораживания. Некоторое уменьшение интенсивности теплоотвода от нижней морозильной плиты можно объяснить различием величин конвективных сопротивлений теплоотдачи от стенок каналов к холодильному агенту при его двухфазном течении [3].

Были проведены исследования при однофазном движении переохлажденного жидкого фреона в каналах морозильных плит: на выходе из плит давление холодильного агента превышало давление насыщения, соответствующее температуре фреона. Отсутствие пузырьков пара в циркулирующей жидкости подтверждалось наблюдениями через смотровые стекла.

При температуре холодильного агента на входе в модель минус 40 °С, давлении подпрессовки 5 кПа и расходе фреона $0,63 \cdot 10^{-3}$ м³/с (это соответствует скорости жидкости в каналах 0,186 м/с) в начальный период процесса замораживания величина среднего теплового потока, проходящего через верхнюю поверхность блока, составила 3150 Вт/м², а через его нижнюю поверхность — 3050 Вт/м². Различие интенсивности теплообмена находилось в пределах погрешности приборов и свидетельствовало о равномерном теплоотводе.

Для определения равномерности теплового поля морозильных плит в различных точках на поверхностях установили несколько датчиков теплового потока. Кинетика теплоотвода при снятии теплового поля плит приведена на рис. 1. Из рисунка видно, что плотность тепловых потоков достаточно равномерна по всей морозильной плите. На графиках видны три периода процесса, которые заметно отличаются по интенсивности теплоотвода.

Теплоотвод при различных давлениях подпрессовки изучали на модели, позволяющей повысить степень подпрессовки до 0,6—0,8 МПа.

Жилованное мясо замораживали при давлении подпрессовки 0,15 МПа; 0,2 МПа и 0,25 МПа.

Продукт укладывали в окантовку из нержавеющей стали ($\delta=3$ мм) размером 385×390×87 мм массой

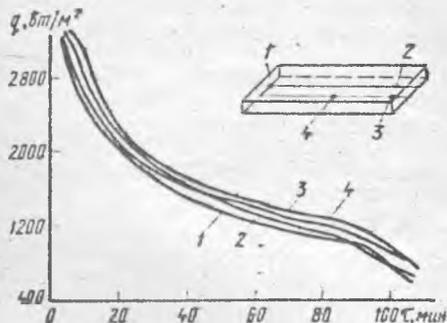


Рис. 1. Кинетика теплоотвода при замораживании жилого мяса в блоках: 1, 2, 3, 4 — датчики теплового потока.

Таблица 2

Давление подпрессовки, МПа	Средний тепловой поток, Вт/м ²		Продолжительность замораживания, мин	Отношение на продольной поверхности замораживаемого продукта
	начало процесса	конец процесса		
0,005	3200	700	110	1,00
0,15	3500	700	101	0,91
0,20	3800	750	94	0,85
0,25	4200	700	90	0,82

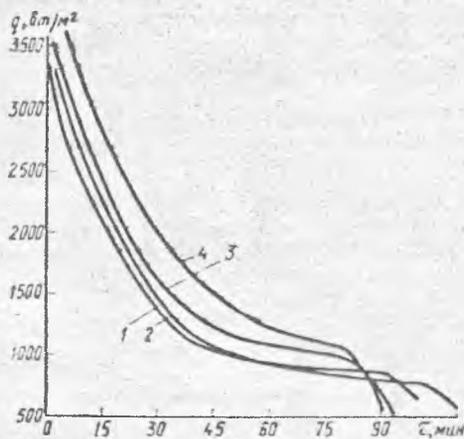


Рис. 2. Интенсивность теплоотвода от блока продукта: 1 — 0,005 МПа; 2 — 0,15 МПа; 3 — 0,20 МПа; 4 — 0,25 МПа.

11—11,5 кг. Толщина замороженных блоков составляла 77—78 мм.

Средние результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Из табл. 2 видно, что при увеличении давления подпрессовки интенсивность теплообмена возрастает и, следовательно уменьшается продолжительность замораживания. Расчетные суммарные термические сопротивления перехода «продукт — холодильный агент» (рис. 3) с повышением подпрессовки уменьшаются.

Кинетические кривые тепловых потоков без динамических возмущений при замораживании жилого мяса, упакованного в ламинированную бумагу, в роторном агрегате АРСА-3-15 приведены на рис. 4. Сравнение кривых теплоотвода к верхней 1 и нижней 2 поверхностям плит показывает отсутствие тепловой симметрии блока, т. е. геометрический центр не совпадает с термическим.

На протяжении процесса замораживания теплоотвод к верхней плите ($q_{ср}=830$ Вт/м²) более интенсивен, чем к нижней ($q_{ср}=540$ Вт/м²). Поэтому термический центр должен находиться ниже геометрического. Существенное различие между теплоотводом к верхней и средней плитам можно объяснить на основе анализа уравнения [1]. Термические сопротивления не могут значительно отличаться друг от друга, кроме сопротивления теплоотдачи холодильному агенту — при двухфазном течении. В связи с тем, что при работе морозильного агрегата ротор периодически поворачивается и секции с блоками находятся в различных положениях, разница в интенсивности теплообмена не должна быть значительной.

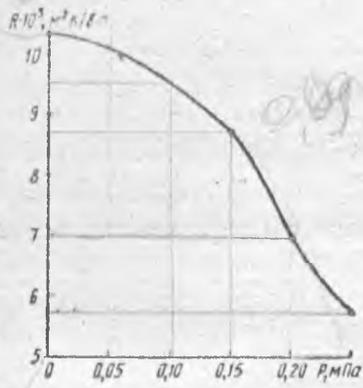


Рис. 3. Зависимость суммарных термических сопротивлений «продукт — холодильный агент» от давления подпрессовки продукта.

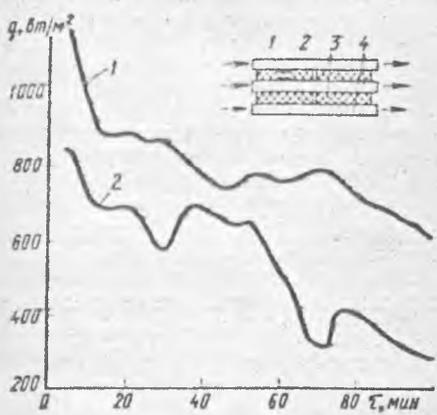


Рис. 4. Кинетика теплоотвода при замораживании мяса в блоках в роторном морозильном агрегате АРСА-3-15: 1, 2 — датчики теплового потока; 3 — продукт; 4 — морозильные плиты.

Большое различие между теплоотводом к верхней и средней плитам связано с их различной тепловой нагрузкой, так как средняя плита в трехплиточной морозильной секции с двух сторон отводит тепло от блоков продукта, помещенных в нижней и верхней полостях секций, в то время как крайние плиты осуществляют односторонний теплоотвод.

В опытах измеряли также температурное поле блока и кинетику его изменения. Изохроны (линии одинаковой температуры) блока говядины I категории при замораживании в упаковке из ламинированной бумаги приведены на рис. 5.

Максимумы температурных кривых для любого момента времени сдвинуты в сторону внутренней (средней) плиты. Следовательно, термический центр блока не совпадает с геометрическим. Расчеты (см. рис. 5) показывают, что к наружной плите при замораживании поступает тепло от 55—60% продукта. Данные пересчета на интенсивность теплоотвода с поверхностей блока хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными с помощью датчиков теплового потока непосредственно при замораживании.

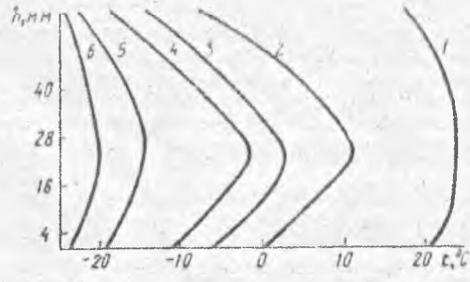


Рис. 5. Температурное поле продукта в процессе замораживания: 1 — 0; 2 — 30 мин.; 3 — 60 мин.; 4 — 90 мин.; 5 — 120 мин.; 6 — 150 мин.

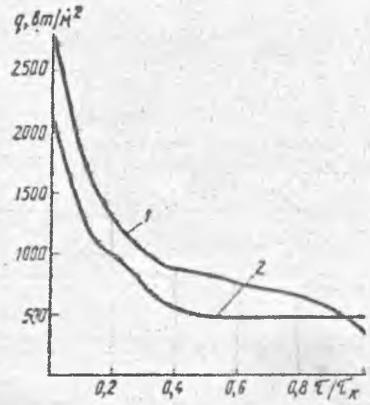


Рис. 6. Интенсивность теплоотвода при замораживании жилованного мяса в различных упаковочных материалах: 1 — парафинированная бумага, пергамент, полиэтилен; 2 — ламинированная бумага.

Исследования в производственных условиях подтвердили, что различная интенсивность теплоотвода к жидкому и к парообразному холодильному агенту существенно влияет на плотность тепловых потоков к верхней и нижней плитам. В этом случае различная интенсивность теплоотвода выражается в уменьшении скорости падения тепловых потоков на отдельных участках кинетических кривых, а иногда даже и увеличении интенсивности теплоотвода (см. рис. 4). Это подтверждается рис. 5, из которого видно, что положение термического центра не постоянно: при расположении средней плиты сверху теплообмен в ней интенсифицируется за счет увеличения коэффициента теплоотдачи к жидкому аммиаку, что подтверждается нерегулярным изменением расстояния между отдельными изохронами температур, построенными через равные промежутки времени — 30 мин (см. рис. 5).

Исследования, проведенные на модели и роторном агрегате, показали целесообразность увеличения количества циркулирующего холодильного агента, проходящего через среднюю морозильную плиту в трехплиточных секциях, путем установки в них дроссельных шайб с отверстиями большого диаметра.

Интенсивность теплоотвода изучали при замораживании продукта в блоках, упакованных в полиэтилен, пергамент, парафинированную или ламинированную бумагу при степени подпрессовки продукта 5 кПа. Рис. 6 показывает, что интенсивность теплоотвода при приме-

Таблица 3

Упаковка	Толщина, мм	Термическое сопротивление, (м ² ·К)/Вт	
		упаковки [4]	суммарного перехода «продукт—холодильный агент»
Бумага			
парафинированная	0,27	0,0036	0,01
ламинированная	—	—	0,20—0,0250
Полиэтилен	0,04	0,000138	0,0135—0,0150
Пергамент	0,05	0,000750	0,0135—0,0150

Примечание. Термическое сопротивление стенки алюминиевой морозильной плиты равно 0,000033 (м²·К)/Вт, сопротивление воздушной прослойки $\delta = 0,9$ мм составляет 0,043 (м²·К)/Вт.

нении ламинированной бумаги значительно ниже ($q_{ср} = 750$ Вт/м²), чем при использовании пергамента, полиэтилена или парафинированной бумаги, для которых плотность теплового потока практически одинакова ($q_{ср} = 1000$ Вт/м²).

В начальный период замораживания интенсивность теплоотвода довольно велика из-за большой разности между температурой продукта и охлаждающей поверхности. В дальнейшем уменьшаются величина температурного напора Δt и плотность теплового потока.

Величины термических сопротивлений перехода «продукт — холодильный агент», рассчитанных на основании экспериментальных данных, приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что термическое сопротивление перехода «продукт — холодильный агент» значительно больше термического сопротивления упаковки за счет воздушных прослоек.

Таким образом, датчики теплового потока позволяют исследовать динамику работы морозильных аппаратов, определить величину тепловой нагрузки на аппарат, зависимость параметров холодильного агента, вида упаковки и других факторов на продолжительность замораживания продукта и производительность морозильных аппаратов.

Список использованной литературы

1. Федоров В. Г. Теплометрия в пищевой промышленности. М., «Пищевая промышленность», 1974, 176 с.
2. Кинетика теплоотвода при блочном замораживании рыбы — «Рыбное хозяйство», 1973, № 9, с. 52—54. Авт. В. Г. Федоров, Б. П. Шубенко, Г. С. Кокоткин, Н. В. Фомин.
3. Насосно-циркуляционные системы с роторными скороморозильными агрегатами — «Мясная индустрия СССР», 1974, № 4, с. 17—19; № 5, с. 27—28. Авт.: А. Г. Ионов, О. К. Боголюбский, В. Н. Эрлихман, С. Я. Мекеницкий.
4. Шеффер А. П., Саатчан А. К., Кончков Г. Ф. Интенсификация охлаждения, замораживания и размораживания мяса. М., «Пищевая промышленность», 1972, 376 с.