

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.01.2021 17:29:32

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d088

## МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров



### НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХОЛОДА В ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 19.03.03 «Продуктов питания  
животного происхождения»

Курск 2018

УДК: 664

Составители: А.Г. Беляев

Рецензент

Кандидат фармакологических наук, доцент *Л.А. Горбачева*

**Научные основы применения холода в производстве:** методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Беляев. Курск, 2018. 29 с.: Библиогр.: с.28

Приводится перечень лабораторных работ, цель их выполнения, материальное обеспечение, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания, рекомендуемая литература.

Предназначены для студентов направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 19.01.18. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 1,68 Уч.-изд. л. 1,52 Тираж 50 экз. Заказ 14 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение	4
Лабораторная работа №1 Методы получения низких температур. Естественное и искусственное охлаждение	7
Лабораторная работа №2 Испытания малых холодильных установок (бытовых холодильников)	9
Лабораторная работа №3 Определение криоскопической температуры пищевых продуктов	14
Лабораторная работа №4 Исследование процесса замораживания пищевых продуктов	15
Лабораторная работа №5 Определение длительности замораживания пищевых продуктов	20
Лабораторная работа №6 Процесс отепления и размораживания продуктов.	23
Список рекомендуемой литературы	29

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ предназначены для студентов направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» с целью закрепления и углубления ими знаний, полученных на лекциях и при самостоятельном изучении учебной литературы.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Перечень лабораторных работ, их объем соответствуют учебному плану и рабочей программе дисциплины. При подготовке к занятиям студенты должны изучить соответствующий теоретический материал по учебной литературе, конспекту лекций, выполнить задания для самостоятельной работы. Студенты должны ознакомиться с содержанием и порядком выполнения лабораторной работы.

Каждое занятие содержит цель его выполнения, материальное обеспечение, рекомендуемые для изучения литературные источники, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания для выполнения. При выполнении лабораторных работ основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с высоким уровнем индивидуализации заданий под руководством преподавателя. Результаты выполненных каждым студентом заданий обсуждаются в конце занятий. Оценка преподавателем лабораторной работы студента осуществляется комплексно: по результатам выполненного задания, устному сообщению и качеству оформления работы, что может быть учтено в рейтинговой оценке знаний студента.

## **Правила оформления работ**

1. Отчеты по каждой теме лабораторного занятия оформляются в отдельной тетради.

2. Перед оформлением каждой работы студент должен четко написать ее название, цель выполнения, краткие ответы на вопросы для подготовки, объекты и результаты исследования. Если предусмотрено оформление работ в виде таблиц, то необходимо все результаты занести в таблицу в тетради. После каждого задания должно быть сделано заключение с обобщением, систематизацией или обоснованием результатов исследований.

3. Каждую выполненную работу студент защищает в течение учебного семестра.

Выполнение и успешная защита лабораторных работ являются допуском к сдаче теоретического курса на экзамене.

Наименование работ	Объем, часов		
	оч- ная	заоч- ная	Сокра- щенная (по ин- дивиду- альному плану)
Лабораторная работа №1 Методы получения низких температур. Естественное и искусственное охлаждение	2	2	2
Лабораторная работа №2 Испытания малых холодильных установок (бытовых холодильников)	4		
Лабораторная работа №3 Определение криоскопической температуры пищевых продуктов	2		
Лабораторная работа №4* Исследование процесса замораживания пищевых продуктов	2	2	2
Лабораторная работа №5 Определение длительности замораживания пищевых продуктов	2		
Лабораторная работа №6 Процесс отепления и размораживания продуктов.	4		
Итого, час.	16	4	4

Примечание: \* - практические работы, проводятся с использованием интерактивных форм ведения занятий.

## Лабораторная работа №1 Методы получения низких температур. Естественное и искусственное охлаждение

**Цель работы:** познакомиться с методами получения низких температур, определить длительность охлаждения конкретного продукта при заданных условиях; исследовать влияние на длительность охлаждения формы геометрических размеров продукта, разности температур.

**Оборудование:** бытовой холодильник, миска со льдом, пищевой продукт, термометр цифровой, анемометр.

**Ход работы:** Ознакомиться с рабочей схемой стенда, основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов;

Найдите типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру ( $t_n$ ) и температуру охлаждающей среды ( $t_s$ ). Установите в продукт термодатчики термометра цифрового (в центр и на поверхность); Заложите продукт в бытовой холодильник и в миску со льдом и производите замеры температур продукта с интервалом в 10 минут до достижения температуры в центре продукта ( $t_{кц}$ )  $+4$  С; результаты опытов запишите в таблицу 1;

Таблица 1 Результаты опытов

Продолжительность охлаждения, «т» Температура, $t$ , °С	10 мин.	20 мин.	30 мин.	40 мин.	50 мин.	60 мин.
Поверхности мяса цыплят бройлеров						
Центра мяса цыплят бройле-						
Поверхности мяса цыплят бройлеров						
Центра мяса цыплят бройле-						

Рассчитайте продолжительность режима охлаждения продукта (до момента достижения на поверхности продукта криоскопической температуры)

$$\tau_1 = \frac{F_0 \cdot R^2}{a_3}$$

где  $F_0$  - критерий Фурье, найденный по номограмме для полученных расчетом числа Био ( $Bi$ ) и безразмерной температуры на поверхности продукта ( $\theta_n$ ).

$R$  - половина характерного размера продукта, м ;  $a$  - коэффициент температуропроводности продукта,  $m^2 / c$ ;

$$\Theta_n = \frac{t_{kp} - t_s}{t_n - t_s}$$

Построить полученные температурные графики, проведите сравнение с аналитическими расчетами, сделайте выводы.

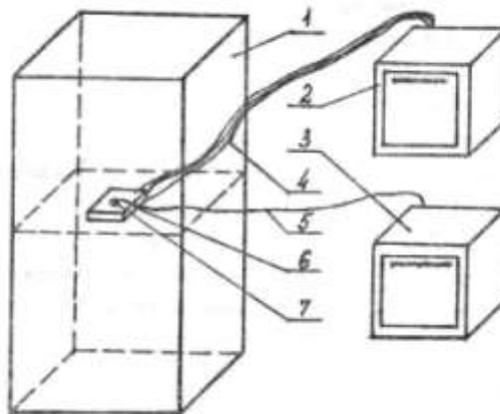


Рисунок 1- Схема лабораторного стенда для исследования процессов охлаждения и замораживания пищевых продуктов

1 - холодильный шкаф; 2 - потенциометр КСП-4; 3 - электронный мост КСМ-4; 4 - термопары; 5 - подсоединительные провода к тепломеру; 6 - объект испытаний; 7-тепломер.

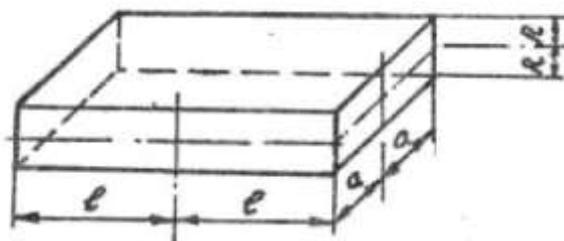


Рисунок 2- Пластина

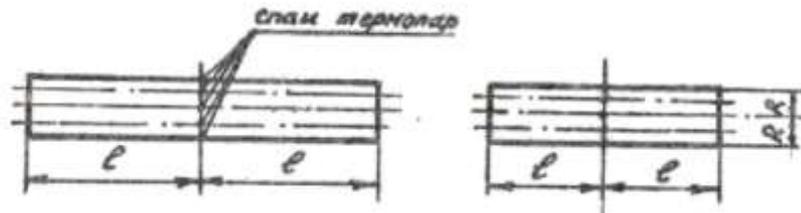


Рисунок 3- Схема размещения термопар в пластине

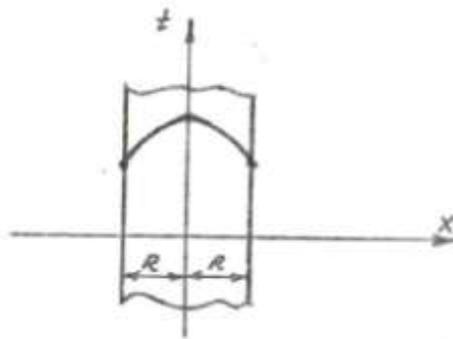


Рисунок 4- Температурное поле в неограниченной пластине, толщиной  $2R$

*Составить отчет:* в отчете представить аналитические расчеты; схему экспериментального стенда, описание лабораторной работы; термограммы; анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

### **Лабораторная работа №2** Испытания малых холодильных установок (бытовых холодильников)

**Цель работы:** ознакомление с устройством домашних холодильников и с методикой испытания.

**Оборудование:** бытовой холодильник, электросчетчик, датчики температуры.

**Ход работы:** Ознакомиться с правилами техники безопасности, рабочей схемой испытания, устройством холодильника, методиками проведения и обработки результатов испытания.

Занести в рабочую тетрадь техническую характеристику холодильника и характеристику измерительных приборов. Установить переключатель термореле в заданное положение. В моменты включения и выключения компрессора, фиксируемые по

сигнальной лампе, провести измерения температур воздуха внутри холодильной камеры и около неё, по счетчику определить расход электроэнергии, потребляемой компрессором за время одного цикла. Потребляемую мощность определить в момент включения компрессора и за 10 – 20 с до его выключения. Зафиксировать время включения и выключения компрессора. Данные занести в тетрадь

Для данного положения термореле произвести испытание 2 – 3 полных циклов. Установить термореле в другое положение, повторить наблюдения и произвести записи данных измерения в журнал наблюдений.

По окончании испытания определить для каждого режима: среднюю температуру воздуха в шкафу, среднюю условную холодопроизводительность, средний коэффициент рабочего времени, часовой расход электроэнергии, потребляемым компрессором, удельную эффективную холодопроизводительность.

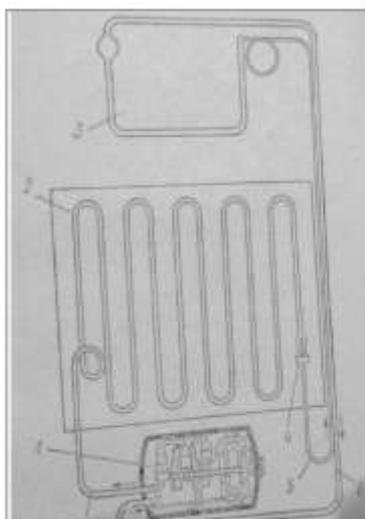
Таблица 1 Техническая характеристика холодильника

<b>Техническая характеристика холодильника</b>	<b>Данные</b>
Холодильник	
Модель	
<b>Размеры холодильника:</b>	
Высота, мм	
Ширина, мм	
Глубина, мм	
<b>Размеры холодильной камеры:</b>	
Высота, мм	
Ширина, мм	
Глубина, мм	
Внутренний объем шкафа, л	
Объем морозильного отделения, л	
Общий вес холодильника, кг	
<b>Компрессор</b>	
Тип	
Холодопроизводительность, кДж/ч (ккал/ч)	
Хладоагент	
<b>Электродвигатель</b>	
Тип	

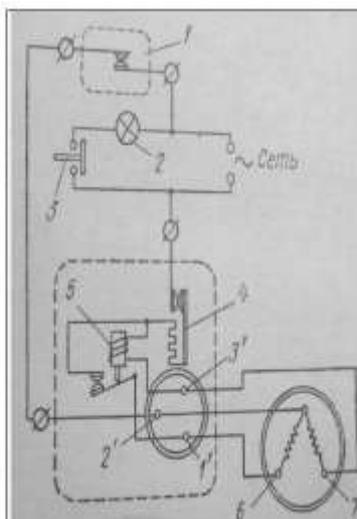
Напряжение, Вольт	
Число оборотов, об/мин	
Номинальная мощность на валу, Вт	

Таблица 2. Результаты наблюдений

№	Время цикла за- мера	Время			Температура воздуха в шкафу			Темпера- тур а окру- жающего воздуха		Потреб- ляемая мощ- ность N,Вт	Показ ания счёт- чика, W1W2, Вт*ч	Расход элек- троэне- ргии за цикл, Wц =W2 - W1,Вт *ч
		В к л. Т1	Ра- бот ы Гра б	ст оя нк и Тн р	Цик ла Тц	На- вер ху Тк1 , Тк2	По- сер еди не, Тк3	В ни ж не й час т и Т к4	Вве рху» Тв			
	мин. , с											
Средние значения за режим												



1 а



2б



3в

### Рисунок 1 Принципиальные схемы холодильника

На рисунке 1 (1а) изображена схема компрессорного агрегата для домашнего холодильника. На схеме показаны компрессор и электродвигатель, размещенные в общем герметическом кожухе 1. Компрессор засасывает парообразный фреон из испарителя 3 по всасывающему трубопроводу 6. В компрессоре пар фреона сжимается и по нагнетательному трубопроводу 7 направляется в конденсатор 2, где пар охлаждается и происходит его конденсация. Жидкий агент из конденсатора, проходя через фильтр 4 по капиллярной трубке 5, припаянной на всасывающей трубе 6, поступает в испаритель 3. В испарителе агент кипит за счет отбора тепла от продуктов и воздуха внутри холодильника, превращается в пар и поступает по всасывающему трубопроводу в компрессор.

На рисунке 1 (2а) дана электрическая схема домашнего холодильника. Поскольку в герметичных фреоновых холодильных агрегатах используются однофазные асинхронные двигатели, то у электродвигателя делается дополнительная пусковая обмотка 6, включение которой осуществляется пусковым реле 5, катушка пускового реле 5 включена последовательно с рабочей обмоткой электродвигателя 7. При замыкании контактов термореле 1 напряжение подается на рабочую обмотку электродвигателя. В электрической схеме предусмотрено тепловое реле 4, защищающее двигатель компрессора от перегрузок. Электрическая лампа 2, предназначенная для освещения внутреннего объема шкафа, включается при открывании дверцы шкафа выключателем 3, установленном в проеме дверцы шкафа.

На рисунке 1 (3а) дано размещение термометров для измерения температур внутри шкафа и температуры окружающего воздуха.

#### Обработка результатов наблюдений

Средняя температура помещения (равной температуре  $t_{\delta}$ ):  $t_{н} = t_{\delta \text{ ср}}$

Средняя приближенная температура воздуха в шкафу:

$$t_{\text{к.ср.}} = \frac{t'_{\text{к.ср.}} + t''_{\text{к.ср.}} + t'''_{\text{к.ср.}} + t_{\text{к.ср.}}^{\text{IV}}}{4}$$

Средний коэффициент рабочего времени

$$b_{\text{ср}} = \frac{\sum \tau_{\text{раб}}}{\sum \tau_{\text{ц}}}$$

где  $\sum \tau_{\text{раб}}$  - суммарное время работы холодильной машины в течение испытания одного режима, ч;

-  $\sum \tau_{\text{ц}}$  суммарное время циклов одного режима ч (время одного режима), ч.

Холодопроизводительность компрессора при заданной величине теплопроводимости  $kF$ :

$$Q_0 = kF(t_{\text{н}} - t_{\text{к.ср.}})$$

кДж/ч (ккал/ч). Средняя условная холодопроизводительность: Средняя условная холодопроизводительность:

$$Q_{0\text{ус}} = \frac{Q_0}{b_{\text{ср}}}$$

кДж/ч. Средний часовой расход электроэнергии, потребляемой компрессором: по измеренной мощности

$$W_{\text{ср}} = N_{\text{ср}} b_{\text{ср}},$$

Вт\*ч, где  $N_{\text{ср}}$  – средняя мощность, потребляемая компрессором в течение заданного режима, Вт. По измеренному расходу электроэнергии:

$$W_{\text{ср}} = (W_2 - W_1)_{\text{ср}} \frac{1}{\tau_{\text{ц.ср.}}},$$

Вт\*ч, где  $(W_2 - W_1)_{\text{ср}}$  – средний расход электроэнергии за режим в Вт\*ч, при этом  $W_2$  и  $W_1$  соответственно показания счетчика в момент выключения и включения компрессора в Вт\*ч,  $\tau_{\text{ц.ср.}}$  - среднее время цикла, ч.

Средний действительный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon_{\text{а}} = \frac{Q_0}{0,86W_{\text{ср}}}.$$

Удельная эффективная холодопроизводительность:

$$K_e = 860\varepsilon_{\text{д}},$$

кДж/кВт\*ч (ккал/кВт\*ч).

*Составить отчет:* в отчете представить данные схема компрессорного агрегата, электрическая схема, схема размещения термометров, характеристика измерительных приборов, журнал наблюдений, техническая характеристика холодильника, описание

лабораторной работы; обработка результатов испытаний, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

**Лабораторная работа №3** Определение криоскопической температуры пищевых продуктов

**Цель работы:** Познакомиться с физическими особенностями, происходящими в продуктах (растворах), при фазовых превращениях в процессе понижения температуры; определить криоскопическую температуру пищевого продукта.

**Оборудование:** Шкаф морозильный, термопары, переносной потенциометр, пищевые продукты.

**Ход работы:** Лабораторная работа состоит из двух частей:  
- определение криоскопической температуры раствора (например, хлорида натрия); - определение криоскопической температуры образца заданного пищевого продукта.

Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда (лабораторная работа 1 Рисунок 1 Схема лабораторного стенда для исследования процессов охлаждения и замораживания пищевых продуктов), основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов.

Проверьте состояние и работоспособность измерительных приборов, термопар, секундомера.

Подготовьте исследуемый образец: - составьте раствор, определите его концентрацию, залейте в емкость;

- образец продукта сравните с принятыми каноническими формами (пластина, шар, цилиндр) и определите величину характерного размера для принятой модели.

Включите прибор, прогрейте его; затем вставьте чувствительные элементы в исследуемый объект (спай термопары должен располагаться в термическом центре исследуемого объекта).

Поместите объект в морозильный шкаф и отметьте этот момент на приборе.

Ведите наблюдение за протеканием процесса. В ходе наблюдений измеряйте температуру объекта, температуру заморажи-

вающей среды. Измерения проводите через равные промежутки времени, в течение 1 – 2 часов. Вода входит в состав подавляющего большинства пищевых продуктов.

Установлено, что в жидком состоянии вода образует псевдокристаллическую структуру, наблюдается некоторое упорядочение частиц в аморфной среде. С понижением температуры частицы воды сближаются, силы их взаимного притяжения увеличиваются, снижается интенсивность броуновского движения.

Когда энергия движения частиц снизится до уровня и ниже энергии постоянной ориентации, образуется структура кристаллов. Наблюдается фазовое превращение воды в лед (кристаллизация), при этом происходит выделение значительного количества энергии (около 335 кДж/кг). В пищевых продуктах вода находится в виде растворов, кроме того она связана в структурах белков и полисахаридов. Все это определяет криоскопическую температуру продукта.

По завершении процесса кристаллизации (температура в термическом центре станет заметно снижаться) выключите потенциометр, снимите диаграммную ленту, нанесите на нее температурную шкалу и отметки времени.

По результатам измерений постройте график в координатах температура (t) – время (с), нанесите на него характерные точки и уровни температур (начальную температуру, температуру среды, криоскопическую температуру). Проведите сравнение с данными, взятыми из справочников.

*Содержание отчета:* описание лабораторной работы; схема экспериментального стенда; термограммы; анализ экспериментальных исследований и выводы.

**Лабораторная работа №4** Исследование процесса замораживания пищевых продуктов

**Цель работы:** Познакомиться с технологией процесса отвода теплоты при замораживании продукта, методами и способами определения температурных полей, механикой их измерения в продукте.

**Оборудование:** шкаф морозильный, пищевой продукт, потенциометр с термопарами, секундомер.

**Ход работы:**

Охлаждающий шкаф должен быть включен до начала лабораторных работ для достижения требуемого температурного режима.

Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда (рис.1 лабораторная работа 1), основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов. Проверьте состояние и работоспособность измерительных приборов, термопар, секундомера. Придайте продукту каноническую форму - пластина (рис.2 лабораторная работа 1). Включите самописцы, прогрейте их и установите термопары и тепломер в исследуемый продукт согласно схеме (рис. 3 лабораторная работа 1).

Поместите продукт в низкотемпературное отделение холодильника, отметьте этот момент на лентах приборов-самописцев. При достижении тепловым потоком величины, близкой к нулю (не более 5% от начальной), выключите самописцы, выньте продукт из холодильника и снимите датчики.

Параллельно с процессом замораживания продукта проведите аналитический расчет среднеобъемной температуры продукта в соответствии с приведенной ниже методикой.

Обработайте полученные температурные графики (термограммы) и график теплового потока, проведите сравнения с аналитическими расчетами, сделайте выводы.

*Основы теории процесса замораживания пластины*

В расчетах процесса замораживания стремятся определить температуры на поверхности ( $t_n$ ) и в термическом центре ( $t_c$ ) объекта, а также продолжительность самого процесса ( $\tau$ ). Математически их зависимость от условий холодильной обработки пластины можно получить совместным решением дифференциальных уравнений теплопроводности

$$\frac{dt}{dn} = a \frac{d^2 t}{dx^2}$$

и теплообмена (граничное условие третьего рода)

$$-\lambda \frac{dt}{dn} = a(t_n - t_s)$$

В процессе холодильной обработки при замораживании характер изменения температуры продукта происходит по закону, графическое изображение которого соответствует графику, представленному на рис.1. Для удобства анализа и математического описания график разбивают на три участка с определенной длительностью:

$\tau_1$ -продолжительность предварительного охлаждения объекта до момента достижения на поверхности криоскопической температуры ( $t_{кр}$ );

$\tau_2$  -продолжительность самого процесса замораживания, т.е. начала льдообразования и до его окончания (окончание льдообразования определяется моментом начала понижения температуры в термическом центре ниже криоскопической);

$\tau_3$  - продолжительность понижения температуры продукта до заданной температуры в термическом центре продукта ( $t_{кц}$ ).

Наклон и величина каждого участка кривой зависят от условий теплообмена  $t, ^\circ\text{C}$

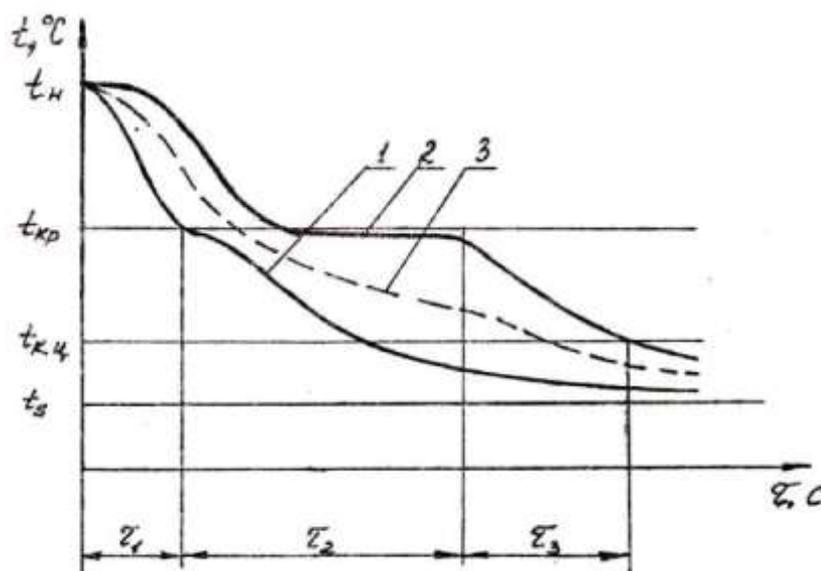


Рисунок 1 -График (термограмма) изменения температур исследуемого объекта при его замораживании: 1 - на поверхности ( $t_n$ ); 2 - в термическом центре ( $t_{кц}$ ); 3 - среднееобъемная температура ( $t$ ).

Таким образом общая длительность процесса замораживания будет определяться суммой их трех участков

*Аналитические методы расчета каждого участка*

Так как участки 1 и 3 не имеют фазовых превращений, то их длительность, распределение температур рассчитываются по методике для охлаждения.

Участок 2 характеризуется наличием фазового перехода. Если принять процесс изотермическим, т.е. процесс кристаллообразования проходит при постоянной температуре, то для замороженного слоя  $dx$  продукта с единицы площади поверхности необходимо отвести количество теплоты:

$$dq = r \rho dx$$

где  $r$  - удельная теплота льдообразования;  $\rho$  - плотность продукта.

В процессе замораживания тепло передается к внешней среде через замороженный слой толщиной  $X$ . Температура на внутренней границе замороженного слоя равна  $t_{кр}$ , на внешней - в соответствии с температурой охлаждающей среды  $t_s$  и условиями теплообмена (коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ )

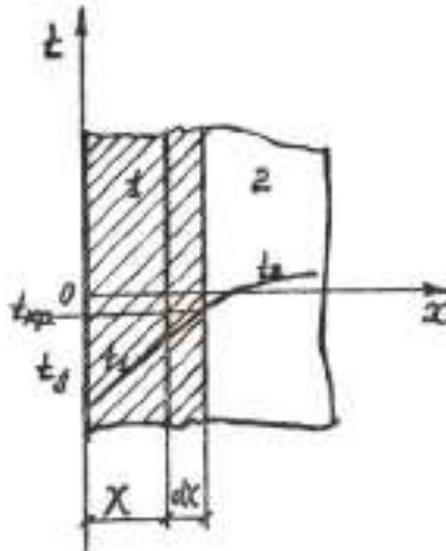


Рисунок 2 Схема замораживания неограниченного тела с плоской поверхностью. 1 - замерзшая зона; 2 - незамерзшая зона:

$x$  - толщина замороженного слоя за время  $\tau$ ;

$dx$  - толщина замороженного слоя за время  $d\tau$ .

Принимая распределение температуры в замерзшем слое по линейному закону, имеем:

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{t_{кр} - t_s}{\frac{x}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}}$$

откуда:

$$dq = \frac{t_{кр} - t_s}{\frac{x}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} d\tau$$

Приравниваем уравнения, интегрируем и находим частное

$$\tau = \frac{r\rho R}{t_{кр} - t_s} \left( \frac{R}{2\lambda_2} + \frac{1}{\alpha} \right)$$

При двустороннем замораживании пластины толщиной  $2R$  продолжительность процесса рассчитывается по формуле Р. Планка. Для бесконечного цилиндра с радиусом  $R$  формула Р. Планка имеет вид:

$$\tau = \frac{r\rho R}{2(t_{кр} - t_s)} \left( \frac{R}{2\lambda_2} + \frac{1}{\alpha} \right)$$

Для шара с радиусом  $R$ :

$$\tau = \frac{r\rho R}{3(t_{кр} - t_s)} \left( \frac{R}{2\lambda_2} + \frac{1}{\alpha} \right)$$

При замораживании пластины в воздухе ее среднеобъемную температуру при параболическом законе распределения определяют через температуру среды  $t_s$  по уравнению:

$$\bar{t} = t_u - \frac{Bi}{3(Bi+2)} (t_u - t_s),$$

где:  $t$ ,  $t_u$ ,  $t_s$  - температура пластины соответственно среднеобъемная, в термическом центре, охлаждающей среды

*Содержание отчета:* аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; термограммы; анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

### **Лабораторная работа №5** Определение длительности замораживания пищевых продуктов

**Цель работы:** определить длительность замораживания конкретного продукта при заданных условиях; исследовать влияние на длительность замораживания формы геометрических размеров продукта, разности температур; найти количество теплоты, отводимой при замораживании продукта.

**Оборудование:** шкаф морозильный, пищевой продукт, термометр цифровой, анемометр.

**Ход работы:** Ознакомиться с рабочей схемой стенда (рис.1 лабораторная работа 1), основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов; Найти типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру ( $t_n$ ) и температуру замораживающей среды ( $t_s$ ).

Установите в продукт термодпары термометра цифрового (в центр и на поверхность);

Заложить продукт в морозильный шкаф и производите замеры температур продукта с интервалом в 15 минут до достижения температуры в центре продукта ( $t_{кц}$ )  $-6\ 0C$ ; результаты опытов записать в таблицу 1;

Таблица 1 Результаты опытов

Продолжительность замораживания, «т» Температура, $t$ , $^{\circ}C$	15 минут	30 минут	45 минут
Поверхности картофеля			
Центра картофеля			
Поверхности моркови			
Центра моркови			

Определите количество теплоты, отводимой от замораживаемого продукта  $Q = G [C_0 (t_n - t_{кр}) + r W w + C_3 (t_{кр} - t)]$  ,  
где  $G$  - масса продукта, кг;

$c_0, c_3$  - удельная теплоемкость соответственно охлажденного и замороженного продукта, кДж/ (кг К);

$t_n, t_{кр}, t$  - соответственно среднеобъемная начальная, криоскопическая и конечная температура продукта, °С;

$r$  - удельная теплота кристаллизации, кДж/кг;

$W$  - исходная влажность продукта, в долях единицы;

$\omega$  - количество вымороженной воды в продукте, в долях единицы.

Допуская, что теплоемкость льда не зависит от температуры, можно принять:

$$C_3 = C_0 - 2,1 W \omega$$

В соответствии с эмпирической зависимостью Г.В.Чижова

$$\omega = \frac{1,105}{1 + \frac{0,31}{\lg[t + (1 - t_{\text{кр}})]}}$$

Значения  $t$  и  $t_{кр}$  берутся в абсолютных величинах.

Рассчитайте продолжительность режима охлаждения продукта (до момента достижения на поверхности продукта криоскопической температуры)

$$\tau_1 = \frac{F_3 \cdot R^2}{\alpha_3}$$

где  $F_3$  - критерий Фурье, найденный по номограмме для полученных расчетом числа Био ( $Bi$ ) и безразмерной температуры на поверхности продукта ( $Op$ )

где

$R$  - половина характерного размера продукта, м;

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи продукта, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности охлажденного продукта, Вт/(м·К);

$$\Theta_{\Pi} = \frac{t_{кр} - t_s}{t_H - t_s}$$

Рассчитайте длительность процесса замораживания продукта по формуле Планка:

$$\tau_2 = A_{\Phi} \frac{q\rho R}{(t_{кр} - t_s)} \cdot \left( \frac{R}{2\lambda_3} + \frac{1}{\alpha} \right)$$

где:  $A_{\Phi}$  - коэффициент формы;

$q$  - удельная теплота кристаллизации продукта, определяемая по формуле  $q = r W \omega$ , кДж/кг,

где:  $r$  - удельная теплота кристаллизации 1 кг воды, равная 350 кДж/кг;

-  $\lambda_3$  - коэффициент теплопроводности замороженного продукта.

Рассчитайте длительность третьего периода процесса замораживания продукта до заданной температуры

$$\tau_3 = \frac{F_3 \cdot R^2}{a_3}$$

где  $F_0$  - критерий Фурье, найденный по номограмме для полученных расчетом числа  $Bi_3$  (замороженного продукта) и безразмерной температуры в центре продукта  $\Theta_c$ .

$$\Theta_c = \frac{t_{кц} - t_s}{t_H - t_s}$$

$$Bi = \frac{R\alpha}{\lambda_3}$$

где  $t_{кц}$  - конечная величина заданной температуры;  $R$  – половина характерного размера продукта, м;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи

продукта, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_3$  - коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/(м·К);  $a_3$  - коэффициент температуропроводности замороженного продукта, м<sup>2</sup>/с.

Определить полную длительность процесса  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

Обработать полученные температурные графики, провести сравнение с аналитическими расчетами, сделать выводы.

*Содержание отчета:* аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; термограммы, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

### **Лабораторная работа №6** Процесс отепления и размораживания продуктов

**Цель работы:** Познакомиться с технологией процесса отвода теплоты при размораживании продукта, научиться рассчитывать основные параметры камер размораживания.

**Оборудование:** задание, принципиальная схема размещения воздушных каналов с соплами в камере размораживания продуктов.

**Ход работы:** Преподаватель выдает задание в начале лабораторной работы студенту. Студент должен выполнить расчет по заданию преподавателя.

4.Содержание отчета: аналитические расчеты; принципиальная схема камеры размораживания продукта, анализ результатов аналитических исследований.

#### **Задание**

Камера размораживания продукта имеет производительность  $G = 50$  т в сутки = 0,579 кг/с. Продукты размораживаются в воздухе. Длина  $l = 1$  (м), ширина  $b = 1$  (м), толщина блока  $\delta = 0,2$  (м). Система воздухораспределения состоит из каналов с цилиндрическими соплами диаметром  $d = 50$  (мм). Скорость движения воздуха в зоне расположения продукта  $w_{\text{зм}} = 3$  (м/с). Температура воздуха в камере размораживания  $t_{\text{к}} = 20$  (°C), начальная температура размораживаемого продукта  $t_1 = -18$  (°C), конечная  $t_2 = 1$  (°C).

При расчете камеры размораживания требуется определить тепловой поток, подводимый к продукту, продолжительность раз-

мораживания продукта, емкость камеры при непрерывном процессе размораживания и ее габаритные размеры, число воздушных каналов, количество сопел, начальную скорость, выходящего из сопла воздуха, его теплопередающую площадь поверхности.

*Обработка результатов* Принципиальная схема камеры размораживания представлена на рисунке 1

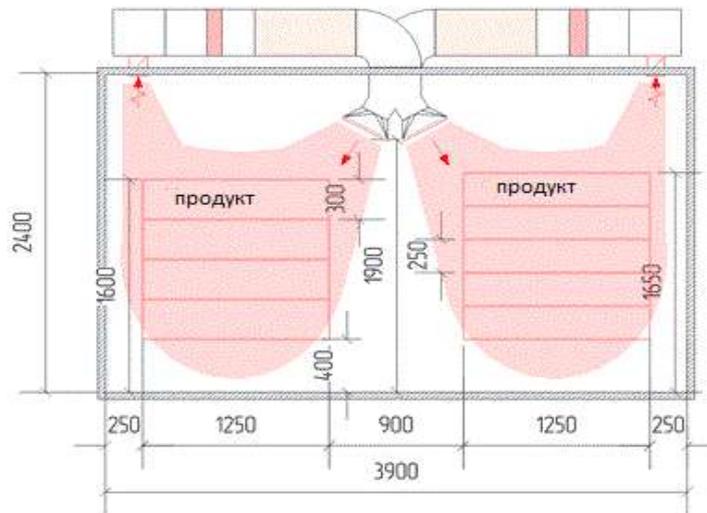


Рисунок 1 Принципиальная схема камеры размораживания

1. Тепловой поток, подводимый к продукту определяют по формуле

$$Q_T = G'(i_2 - i_1),$$

где  $i_2, i_1$  – удельная энтальпия продукта соответственно после размораживания и перед замораживанием, Дж/кг.

Продолжительность размораживания мяса определяют по формуле Планка:

$$\tau = \frac{q_3 \rho_{\Pi}}{t_{кр} - t_c} \sigma \left( R \frac{\sigma}{\kappa_3} + P \frac{1}{\alpha} \right),$$

где  $t_{кр}$  – температура начала замерзания соков продукта,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_c$  – температура теплоотводящей среды,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $R, P$  – вспомогательные коэффициенты, зависящие от формы и соотношения размеров замораживаемого продукта, для принятых размеров блока величина этих коэффициентов равна:

$$\beta_1 = \frac{l}{\delta}, \beta_2 = \frac{b}{\delta},$$

где  $l$  – длина, м,  $b$  – ширина,  $\delta$  – толщина блока, м,  $\kappa_3$  – теплопроводность замороженного продукта, Вт/м\*К,  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>\*К. Численное значение удельного количества теплоты, отводимой от 1 кг продукта при его замораживании от начальной температуры  $t_1$  до конечной  $t_2$ .

$$q_3 = i_2 - i_1,$$

Значение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_k = \frac{0,33 Re^{0,58} \kappa_B}{\delta}$$

где  $\kappa_B$  – коэффициент теплоотдачи воздуха (табл. значение). Число Рейнольдса определяют по формуле при  $u_B = 15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с и толщине продукта  $\delta = 0,2$  м:

$$Re = \frac{w_{xm} \delta}{u_B},$$

$u_B$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

2. Емкость камеры при непрерывном процессе размораживания:

$$G = G' \tau_{\text{разм.}}$$

3. Строительная площадь камеры при  $q_F = 0,25$  т/м<sup>2</sup> ( $q_F = 0,225 - 0,25$  т/м<sup>2</sup>) равна:

$$F_c = \frac{G}{q_F},$$

где  $G$  – емкость камеры,  $q_F$  – норма загрузки к 1 м<sup>2</sup> строительной площади камер, кг/м<sup>2</sup>. Принимаем камеру со следующими размерами: длина  $L_k = 30$  м, ширина  $B_k = 12$  м, норма загрузки отнесенная к 1 м подвешного пути  $g_l = 0,28$  т/м. Длина подвешных путей:

$$L_{\Pi} = \frac{G}{g_l}.$$

Число ниток подвешного пути принимаем  $z_{\Pi} = 10$ , тогда длина одной нитки:

$$l_{\Pi} = \frac{L_{\Pi}}{z_{\Pi}}.$$

Число воздушных каналов при двустороннем обдувании продукта воздухом:  $z_k = z_{\text{п}} + 1$

4. В связи с тем, что сопла размещены на каналах в количестве 6 шт. на 1 м длины канала, их количество составит:  $n_c = l_n z_k 6$ , шт.

5. Начальную скорость выходящего из сопла воздуха, необходимую для создания скорости движения  $w_{xm}$ , можно найти для случая размещения 6 сопел на 1 м длины воздуховода:

$$w_0 = \frac{w_{xm} \left( \frac{a_T x}{d_0} + 0,145 \right)}{0,336},$$

где  $a_T$  – коэффициент турбулентной структуры струи ( $a_T = 0,076$  для цилиндрической струи),  $x$  – расстояние от сопла до рассматриваемого сечения, м,  $x = 1,1$  м,  $d_0$  – диаметр сопла, м.

6. Объемный расход воздуха:

$$V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} n_c w_c$$

Массовый расход воздуха при плотности:  $\rho_B = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>:

$$G_B = \rho_B V_0$$

7. Тепловая нагрузка на калорифер подогрева воздуха:  $Q_{\text{кл}} = Q_T - Q_4$   
Эксплуатационный теплоприток от работы электродвигателей вентиляторов калориферов,  $Q_4 = 0,15 * Q_T$  Вт. Изменение температуры воздуха в калорифере  $\Delta t_k$  при  $C_B = 1000$  Дж/кг\*К,

$$\Delta t_k = \frac{Q_{\text{кл}}}{G_B C_B},$$

<sup>0</sup>С. Изменение температуры воздуха в вентиляторах:

$$\Delta t_B = \frac{Q_4}{G_B C_B}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

В пределах камеры имеет место интенсивное смешение потоков. Принимаем, что температура входящего в калорифер воздуха равна средней температуре воздуха в камере  $t_k$ , <sup>0</sup>С. Тогда температура выходящего из калорифера воздуха

$$t'_B = t_k + \Delta t_k.$$

Температура выходящего из сопел воздуха:

$$t_{B2} = t'_B + \Delta t_B.$$

Полагаем, что калориферы обогреваются водяным паром, конденсирующимся при  $P_{\text{п}} = 1,3 * 10^5$  Па. При этом давлении температура

конденсации водяного пара  $t = 108^{\circ}\text{C}$ . Средняя разность между температурами конденсирующегося пара и воздуха,

$$\Delta t = t - \frac{t_k - t_{в2}}{2}, \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

8. Теплопередающая площадь поверхности калориферов:

$$F_{\text{кл}} = \frac{Q_{\text{кл}}}{k_{\text{кл}} \Delta t},$$

где  $k_{\text{кл}}$  – коэффициент теплопередачи калорифера,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ,  
 $k_{\text{кл}} = 12 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

### Контрольные вопросы

1. Причины возникновения и закономерности кристаллизационного процесса в пищевых продуктах.
2. Переохлаждение, его значение в холодильной технологии пищевых продуктов.
3. Температурные графики замораживания при различном теплоотводе и на различной глубине продукта.
4. Среднеобъемная конечная температура продукта при замораживании, способ ее вычисления, значение.
5. Техника замораживания пищевых продуктов в потоке холодного воздуха.
6. Способы замораживания пищевых продуктов и их сравнительная оценка.
7. Какая температура является криоскопической, эвтектической?
8. Почему у продуктов разная криоскопическая температура?
9. Когда в продукте начинается льдообразование (кристаллообразование)?
10. В каких случаях образуются мелкие кристаллы льда?
11. Почему осуществить кристаллизацию жидкости без переохлаждения, практически, невозможно?

### Список рекомендованной литературы

1. Архаров, А. М. Теория и расчет криогенных систем [Текст]: учебник / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин. - М. : Машиностроение, 1978. - 415 с.
2. Большаков, С. А. Холодильная техника и технология продуктов питания [Текст]: учебник / С. А. Большаков. - М. : Академия, 2003. - 304 с
3. Ботов, М. И. Лабораторные работы по оборудованию предприятий общественного питания (механическое, тепловое и торговое оборудование) [Текст]: учебное пособие / М. И. Ботов, В. Д. Елхина, А. Н. Стрельцов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2005. - 208 с.
4. Курылев, Е. С. Холодильные установки [Текст]: учебник / Е. С. Курылев, В. В. Оносовский, Ю. Д. Румянцев. - 2-е изд., стер. - СПб.: Политехника, 2002. - 576 с.
5. Полевой, А. А. Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха [Текст] / А. А. Полевой. - СПб.: Профессия, 2011. - 244 с.
6. Стрельцов, А. Н. Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания [Текст]: учебник / А. Н. Стрельцов, В. В. Шишов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Академия, 2010. - 368 с.
7. Цуранов, О. А. Холодильная техника и технология [Текст]: учебник для вузов / О. А. Цуранов. - СПб.: Питер, 2004. - 448 с