

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА И  
ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

## **ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**Практикум**

**НОВОСИБИРСК 2023**

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

Составители: канд. техн. наук, доцент *А.А. Диденко*,

канд. техн. наук, доцент *Е.А. Пшенов*

Рецензент: канд. тех. наук, доцент И.В. Тихонкин

Холодильная техника: практикум / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т;  
сост.: А.А. Диденко, Е.А. Пшенов. – Новосибирск, 2023. – 16 с.

Задания и методические указания к контрольной работе предназначены для студентов очной формы обучения по направлению подготовки «Продукты питания животного происхождения», профиль – «Технология мясных и молочных продуктов

Утвержден и рекомендован к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский государственный  
аграрный университет, 2023

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Холодильная техника» составляет основу теоретической и практической подготовки бакалавров. Неотъемлемой частью технологических процессов производства скоропортящихся продуктов, их последующей сохранности, транспортировки и реализации является искусственный холод.

Холод широко используется не только в отраслях агропромышленного комплекса, на транспорте и в торговле, но и в других отраслях народного хозяйства. Специалист в сфере техники и технологии должен уметь с помощью холода целенаправленно управлять изменением физических, химических и биологических свойств продуктов для сохранения их высокого качества и достижения минимума потерь в процессе замораживания.

Все предприятия, имеющие дело с продовольственными скоропортящимися продуктами, оснащены холодильным оборудованием. Это оборудование должно грамотно эксплуатироваться, поддерживая нужные температурно-влажностные условия холодильной обработки продуктов, полуфабрикатов и кулинарной продукции. При этом должно потребляться минимальное количество электроэнергии, воды и других расходных материалов.

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

При проведении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- перед пуском убедиться в исправности лабораторных установок, отсутствии посторонних предметов в камерах рабочих органов, надежном креплении откидных крышек и люков;
- подать сигнал о пуске лабораторной установки;
- во время работы один из студентов должен быть рядом с кнопкой «СТОП»;
- запрещается производить запуск установки в отсутствие преподавателя, а также приводить в действие лабораторные установки с ручным приводом;
- при изучении лабораторных установок обязательна надежная фиксация откидных крышек и люков в открытом положении и отключенном рубильнике электросети питающей установку.

Ознакомление с правилами техники безопасности каждый студент подтверждает подписью в журнале инструктажа на рабочем месте.

## Лабораторная работа № 1

### **Тема: Методы получения низких температур. Естественное и искусственное охлаждение**

**1.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.

**2.Оборудование, приборы, материалы:** среднетемпературный холодильный шкаф, миска со льдом, пищевой продукт, термометр цифровой, анемометр.

#### **3.Ход работы:**

3.1.Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда, основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов;

3.2. Найдите типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру ( $t_n$ ) и температуру охлаждающей среды ( $t_s$ ). Установите в продукт термопары термометра цифрового (в центр и на поверхность);

3.3.Заложите продукт в бытовой холодильник и в в миску со льдом и производите замеры температур продукта с интервалом в 10 минут до достижения температуры в центре продукта ( $t_{ки}$ )  $+4^{\circ}\text{C}$ ; результаты опытов сведите в таблицу 1;

Таблица 1 – Результаты опытов

Продолжительность охлаждения, $\tau$ , мин./ Температура, $t$ , $^{\circ}\text{C}$	10 мин.	20 мин.	30 мин.	40 мин.	50 мин.	60 мин.
Поверхности говядины						
Центра говядины						
Поверхности свеклы						
Центра свеклы						

3.4.Рассчитайте продолжительность режима охлаждения продукта (до момента достижения на поверхности продукта криоскопической температуры) по формуле:

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

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,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

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

где:  $t_{кр}$  - криоскопическая температура, ° C;

$t_s$  - температура охлаждающей среды, ° C;

$t_n$  - начальная температура, ° C;

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

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

## Лабораторная работа № 2

### **Тема: Испытания малых холодильных установок (бытовых холодильников)**

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

**2. Оборудование, приборы, материалы:** среднетемпературный холодильный шкаф, электросчетчик, датчики температуры.

#### **3. Ход работы:**

3.1. Ознакомиться с правилами техники безопасности, рабочей схемой испытания, устройством среднетемпературного холодильного шкафа, методиками проведения и обработки результатов испытания.

3.2. Установить переключатель термореле в заданное положение. В моменты включения и выключения компрессора произвести измерения температур воздуха внутри шкафа и в непосредственной близости от него, 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 журнал.

3.3. Установить термореле в другое положение, повторить наблюдения и произвести записи данных измерения в журнал наблюдений.

3.4. 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 2 - Журнал наблюдений

№ цикла	Время замера		Время			Температура воздуха в шкафу			Температура а окужающе го воздуха		Потребляемая мощность N, Вт	Показ ания счетча, W1? W2, Вт*ч	Расход электроэнергии за цикл, Wц = W2 – W1, Вт*ч
	Вкл. Т1	Выкл. Т2	Работы Граб	стоянки Тпр	Цикла Тц	Наверху Тк1, Тк2	Посередине, Тк3	Внизу Тк4	Вверху, Тв	Сбоку, Тб			
	мин., с												
	Средние значения за режим												

Средний коэффициент рабочего времени:

$$b_{cp} = \frac{\sum \tau_{раб}}{\sum \tau_{ц}},$$

где:  $\sum \tau_{раб}$  – суммарное время работы холодильной машины в течении испытания одного режима, ч.;

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

Холодопроизводительность компрессора при заданной величине теплопроводимости kF, ккал/ч:

$$Q_0 = kF(t_n - t_{к.ср.})$$

Средняя условная холодопроизводительность, ккал/ч:

$$Q_{0yc} = \frac{Q_0}{b_{cp}}$$

Средний часовой расход электроэнергии, потребляемой компрессором по измеряемой мощности, Втч:

$$W_{cp} = N_{cp} \cdot b_{cp}$$

где:  $N_{cp}$  – средняя мощность, потребляемая компрессором в течении заданного режима, Вт.;

Средний действительный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon_d = \frac{Q_0}{0,86W_{cp}}$$

Удельная эффективная холодопроизводительность, ккал/(кВт·ч):

$$K = 860 \cdot \varepsilon_d$$

**4. Содержание отчета:** журнал наблюдений, техническая характеристика холодильника, аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; обработка результатов испытаний, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

#### Лабораторная работа № 3

**Тема: Испытание льдогенератора «Convito» КТ-15-003»**

##### **1. Цель работы:**

1.1. Изучение устройства и принципа действия льдогенератора, усвоение правил его обслуживания и безопасной эксплуатации.

1.2. Определение фактической производительности льдогенератора и расчетной тепловой нагрузки на холодильную установку.

**2. Оборудование, приборы, материалы:** льдогенератора «Convito» КТ-15-003», датчики температуры.

### 3.Ход работы:

3.1. Ознакомиться с правилами техники безопасности, рабочей схемой испытания, устройством льдогенератора, методикой проведения и обработки результатов испытания.

3.2 Снимите верхнюю крышку и произведите размеры подвижной ванны: длину  $l$ , м, ширину  $b$ , м, высоту  $h$ , м. Подсчитайте количество цапф испарителя  $n$ , шт их диаметр  $d$ , м. Внесите эти данные в табл. 3.

3.3 При заполнении подвижной ванны водой измерьте линейкой высоту её слоя  $h_в$ , м и глубину погружения цапф в воду  $h_г$ , м. Внесите эти данные в табл. 3. Закройте крышку льдогенератора. Все последующие измерения проводите через два цикла работы льдогенератора. Секундомером замерьте время отдельных операций цикла работы льдогенератора и занесите данные в табл. 4.

Таблица 3. Протокол измерений

Длина ванны $l$ , м	
Ширина ванны $b$ , м	
Высота ванны $h$ , м	
Количество цапф $n$	
Диаметр цапфы $d_ц$ , м	
Высота слоя воды $h_в$ , м	
Глубина погружения цапфы в воду $h_г$ , м	

Таблица 4. Протокол испытаний

Время, с: заполнения резервуара $\tau_p$	
подъема ванны $\tau_n$	
заполнения ванны $\tau_в$	
намораживания гранул $\tau_n$	
опускания ванны $\tau_о$	
оттаивания гранул $\tau_{от}$	
полного цикла $T$	

3.4 Откройте крышку льдогенератора и штангенциркулем измерьте наружный диаметр гранулы льда  $d_r$ , м. Закройте крышку. Все гранулы льда, получаемые за цикл, поместите в поддон и определите их массу  $G_c$ , кг. В течение цикла определите по потенциометру температуру на поверхностях теплообменных аппаратов холодильного агрегата, начальную температуру воды  $t_в$ , °С и конечную среднюю температуру гранулы льда  $t_г$ , °С. Замеры произведите в течение 2...3 циклов. Результаты внесите в табл. 5. Выключите льдогенератор.

Таблица 5. Протокол испытаний

Наружный диаметр гранулы льда	$d_r$ , м	
Температура, °С:	$t_о$	

испарения фреона		
перед всасывающим вентилем	$t_1$	
после компрессора	$t_2$	
конденсации	$t_k$	
перед терморегулирующим вентилем	$t_3$	
нагрева испарителя при оттаивании гранул льда	$t_{om}$	
воды начальная	$t_6$	
гранулы средняя	$t_2$	
Масса гранул льда, получаемых за цикл	$G_c$ , кг	

### Расчетная часть

Средняя масса гранул льда, получаемых за один цикл,  $G_c$ , кг

$$G_c = \frac{G_{c_1} + G_{c_2} + G_{c_3}}{3},$$

где  $G_{c_1}, G_{c_2}, G_{c_3}$  – массы гранул льда, получаемых за циклы, кг.

Фактическая производительность льдогенератора  $\Pi$  (кг/ч)

$$\Pi = \frac{3600G_c}{T}.$$

Масса воды  $m_6$ , кг, находящейся в ванне льдогенератора для замораживания

$$m_6 = \rho \left( lbh_6 - \frac{n\pi d_u^2 h_u}{4} \right),$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$l$  – длина ванны, м;

$b$  – ширина ванны, м;

$h_6$  – высота слоя воды, м;

$n$  – количество цапф;

$d_u$  – диаметр цапфы, м;

$h_u$  – глубина погружения цапфы в воду, м.

Тепловая нагрузка  $Q$ , кВт на холодильную установку льдогенератора

$$Q = Q_6 + Q_m + Q_0,$$

где  $Q_6$  – теплопритоки от воды при её охлаждении, замораживании и охлаждении гранул льда до конечной температуры, кВт;

$Q_m$  – теплопритоки от металлоконструкций, отепляемых при оттаивании льда и охлаждаемых при замораживании, кВт;

$Q_0$  – теплопритоки от окружающей среды через ограждающие конструкции



льдогенератора, кВт.

Теплопритоки от воды  $Q_6$ , кВт

$$Q_6 = \frac{c_6 m_6 t_6 + G_c (r - c_l t_2)}{\tau},$$

где  $c_6$  – удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·К) ( $c_6 = 4,186$  кДж/(кг·К));

$r$  – удельная теплота фазового перехода, кДж/кг ( $r = 335,2$  кДж/кг);

$c_l$  – удельная теплоёмкость льда, кДж/(кг·К) ( $c_l = 2,1$  кДж/(кг·К));

$t_2$  – средняя температура гранулы льда, °С.

Масса льда  $G_l$ , кг, получаемого за цикл работы льдогенератора

$$G_l = G_c (1 + y),$$

где  $y$  – массовая доля льда, подтаявшего при освобождении цапф.

$$y = \frac{(d + 2\delta)^2 - d^2}{d_c^2 - d^2},$$

где  $\delta$  – толщина подтаявшего слоя льда, м,  $\delta = 1 \cdot 10^{-3}$  м;  $d_c$  – наружный диаметр гранул льда, м.

Теплопритоки от металлоконструкций  $Q_m$ , кВт

$$Q_m = \frac{G_m c_m (t_{om} - |t_0|)}{\tau_n},$$

где  $G_m$  – масса металлоконструкций, отапливаемых при оттаивании льда и охлаждаемых при замораживании, кг ( $G_m = 0,3$  кг);

$c_m$  – удельная теплоёмкость материала испарителя, кДж/(кг·К),  $c_m = 0,682$  кДж/(кг·К);

$t_{om}$  – температура нагрева испарителя при оттаивании, °С.

Теплопритоки от окружающей среды  $Q_0$ , кВт определите из соотношения:

$$Q_0 = 0,15 Q_6.$$

По известным значениям температур  $t_2, t_3, t_0, t_1$  постройте цикл работы холодильной установки на  $lg p - i$  диаграмме. Определите теплосодержание (кДж/кг) холодильного агента в характерных точках  $i_1, i_2, i_3, i_4$  и рассчитайте основные параметры цикла.

Удельная холодильная мощность  $q_0$ , кДж/кг

$$q_0 = i_1 - i_4.$$

Удельная работа компрессора  $A_0$ , кДж/кг

$$A_0 = i_2 - i_1.$$

Удельная теплота конденсации  $q_k$ , Дж/кг

$$q_k = i_2 - i_3.$$

Холодильный коэффициент

$$\varepsilon = \frac{q_0}{A_0}.$$

Масса холодильного агента, циркулирующего в системе,  $G$ , кг/с

$$G = \frac{1,03Q}{q_0}.$$

Теоретическая мощность компрессора  $N_m$ , кВт

$$N_m = GA_0.$$

Расчетная мощность компрессора  $N_e$ , кВт

$$N_e = \frac{N_m}{\eta_i \eta_m},$$

где  $\eta_i$  – индикаторный коэффициент ( $\eta_i = 0,87$ );

$\eta_m$  – механический КПД ( $\eta_m = 0,9$ ).

Сравните расчетную и фактическую мощности компрессора, в случае несовпадения сделайте выводы.

**4. Содержание отчета:** журнал наблюдений, техническая характеристика льдогенератора, аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; обработка результатов испытаний, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

#### **Лабораторная работа № 4**

**Тема: Определение длительности охлаждения пищевых продуктов**

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

**2. Оборудование, приборы, материалы:** среднетемпературный холодильный шкаф, пищевой продукт, термометр цифровой, анемометр.

#### **3. Ход работы:**

3.1. Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда, основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов;

3.2. Найдите типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру ( $t_n$ ) и температуру замораживающей среды ( $t_s$ ). Установите в продукт термодатчики термометра цифрового (в центр и на поверхность);

3.3. Заложите продукт в среднетемпературный холодильный шкаф и производите замеры температур продукта с интервалом в 15 минут до достижения температуры в центре продукта ( $t_{кш}$ )  $+4^{\circ}\text{C}$ ; результаты опытов сведите в таблицу 6;

Таблица 6 – Результаты опытов

Продолжительность охлаждения, $\tau$ , мин./ Температура, $t$ , °C	15мин.	30 мин.	45 мин.
Поверхности картофеля			
Центра картофеля			
Поверхности моркови			
Центра моркови			

3.4 Определите количество теплоты, отводимой от охлажденного продукта

$$Q = G c_0 (t_n - t_k),$$

где  $G$  – масса продукта, кг;

$c_0$  – удельная теплоемкость охлажденного продукта, кДж/ (кг К);

$t_n$ ,  $t_k$  – соответственно среднеобъемная начальная, и конечная температура продукта, °C;

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

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

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, м<sup>2</sup>/с;

3.5 Определите температуропроводность продукта:

$$a_{охл} = \frac{\lambda_{охл}}{c_{охл} \cdot \rho}, [м^2/с, м^2/ч]$$

$\lambda_{охл}$  – коэффициент теплопроводности продукта, Вт/м\*К;

$c_{охл}$  – теплоемкость продукта, кДж/кг\*К;

$\rho$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>

Значения  $\lambda$ ,  $C$  и  $\rho$  выбираются из таблицы. Значения берутся как средние арифметические и выше  $t_{кр}$  (т.к. происходит процесс охлаждения).

3.6 Рассчитывают критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{охл}}$$

где:  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи между продуктами и охлаждающей средой, Вт/м<sup>2</sup>\*К,  $\alpha = 210$  Вт/м<sup>2</sup>\* К (для охлаждающей среды – воздух, для приближенных расчетов);

$l$  – половина величины характерного размера (толщины, диаметра) продукта, м;

### 3.7 Рассчитывается критерий Фурье:

По номограмме находят значение величины безразмерной температуры ( $\Theta_n$ ) в центре продукта с учетом конкретной физической модели (шара, цилиндра или пластины) и найденных критериев  $Bi$  и  $F_0$ .

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

где:  $t_{кр}$  - криоскопическая температура, °C;

$t_s$  - температура охлаждающей среды, °C;

$t_n$  - начальная температура, °C;

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

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

### Лабораторная работа № 5

**Тема: Определение длительности замораживания пищевых продуктов**

**1.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.

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

#### **3.Ход работы:**

3.1.Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда, основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов;

3.2.Найдите типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру ( $t_n$ ) и температуру замораживающей среды ( $t_s$ ). Установите в продукт термопары термометра цифрового ( в центр и на поверхность );

3.3.Заложите продукт в морозильный шкаф и производите замеры температур продукта с интервалом в 15 минут до достижения температуры в центре продукта ( $t_{кц}$ ) -6 °C; результаты опытов сведите в таблицу 7;

Таблица 7 – Результаты опытов

Продолжительность охлаждения, τ, мин./ Температура, t, °C	15мин.	30 мин.	45 мин.
Поверхности картофеля			
Центра картофеля			
Поверхности моркови			
Центра моркови			

3.4. Определите количество теплоты, отводимой от замораживаемого продукта:

$$Q = G [C_0 (t_n - t_{кр}) + rW\omega + C_3 (t_{кр} - t)] ,$$

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:

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

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

3.5. Рассчитайте продолжительность режима охлаждения продукта до момента достижения на поверхности продукта криоскопической температуры):

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

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, м<sup>2</sup>/с;

3.6 Определите температуропроводность продукта:

$$a_{охл} = \frac{\lambda_{охл}}{c_{охл} \cdot \rho}, [м^2/с, м^2/ч]$$

$\lambda_{охл}$  – коэффициент теплопроводности продукта, Вт/м\*К;

$c_{охл}$  – теплоемкость продукта, кДж/кг\*К;

$\rho$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>

Значения  $\lambda, C$  и  $\rho$  выбираются из таблицы. Значения берутся как средние арифметические и выше  $t_{кр}$  (т.к. происходит процесс охлаждения).

3.7 Рассчитывают критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{охл}}$$

где:  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи между продуктами и охлаждающей средой, Вт/м<sup>2</sup>\*К,  $\alpha = 210$  Вт/м<sup>2</sup>\* К (для охлаждающей среды – воздух, для приближенных расчетов);

$l$  – половина величины характерного размера (толщины, диаметра) продукта, м;

3.8 Рассчитывается критерий Фурье:

По номограмме находят значение величины безразмерной температуры ( $\Theta_n$ ) в центре продукта с учетом конкретной физической модели (шара, цилиндра или пластины) и найденных критериев  $Bi$  и  $F_0$ .

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

где:  $t_{кр}$  - криоскопическая температура, °C;

$t_s$  - температура охлаждающей среды, °C;

$t_n$  - начальная температура, °C;

3.6.Рассчитайте длительность процесса замораживания продукта по формуле Планка:

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

где:  $A_\phi$  - коэффициент формы;

$q$  - удельная теплота кристаллизации продукта, определяемая по формуле:

$$q = r W \omega, \text{ кДж/кг},$$

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

$\lambda_3$  - коэффициент теплопроводности замороженного продукта.

3.7.Рассчитайте длительность третьего периода процесса замораживания продукта до заданной температуры:

$$\tau_3 = \frac{F_0 \cdot R^2}{a}$$

3.8.Определите полную длительность процесса

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3.$$

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

### Лабораторная работа № 6

**Тема: Процесс отопления и размораживания продуктов. Камера размораживания мяса.**

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

**2.Оборудование, средства и материалы:** задание преподавателя, принципиальная схема размещения воздушных каналов с соплами в камере размораживания мяса.

**3. Ход работы:**

3.1. Преподаватель выдает задание в начале лабораторной работы студенту.

3.2. В отведенное время студент должен выполнить расчет по заданию преподавателя.

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

Камера размораживания мяса в полутушах имеет производительность  $G$  (т в сутки). Полутуши мяса размораживаются в воздухе. Система воздухораспределения состоит из каналов с цилиндрическими соплами диаметром  $d$  (мм). Скорость движения воздуха в зоне расположения бедренной части полутуши  $w$  (м/с). Температура воздуха в камере размораживания  $t_k$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), начальная температура размораживаемого мяса  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), конечная  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). При расчете камеры размораживания требуется определить тепловой поток, подводимый к мясу, продолжительность размораживания полутуш мяса, 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.

#### Список рекомендуемой литературы:

1. Кокорин О.Я. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений: учебник / О.Я. Кокорин, 2-е изд., испр. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 218 с (ЭБС )
2. Оболенский Н.В. Холодильное и вентиляционное оборудование: учеб. пособие для студ. вузов / Н.В. Оболевский, Е.А. Денисюк. – М.: КолосС, 2006. – 247 с.
3. Оборудование предприятий общественного питания: Учебное пособие/ В.Ф. Кащенко, Р.В. Кащенко. - М.: Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 412 с. (ЭБС )
4. Общие требования к оформлению курсовых и дипломных проектов (работ). Стандарт предприятия / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; Сост. Г.А. Евдокимова и др. – Новосибирск, 2010. – 58 с.
5. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / под ред. А.В. Руцкого. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 286 с.
6. Цуранов О.А. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин. – СПб.: Питер, 2004. – 446 с.
7. Устройство, эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования : учебное пособие / Д. И. Грицай, И. В. Капустин, В. И. Марченко, Е. В. Кулаев. — Ставрополь : СтГАУ, 2019. — 52 с. Текст : электронный . — URL: <https://e.lanbook.com/book/169704>.
8. Пыжов, В.К. Системы кондиционирования, вентиляции и отопления : учебник / В.К. Пыжов, Н.Н. Смирнов ; ИГЭУ. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 528 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1053294>.

Составитель: Диденко Александр Александрович

## **ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

Лабораторный практикум для студентов очной формы обучения направления  
подготовки – 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения»

Компьютерная верстка Диденко А.А.

Подписано к печати «    » \_\_\_\_\_ 2023

Формат 60х84/16

Объем 1,2 уч.- изд.л. тираж 100 экз.

Изд. № Заказ №

---

— Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ 630039,  
г. Новосибирск. ул. Никитина. 147.ауд. 209