

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

**Методические указания
к выполнению контрольных работ**

по дисциплине «Холодильная технология пищевых производств»

Направление подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы
жизнеобеспечения»

Направленность/специализации:

- Холодильная техника и технологи;

Институт: естественно-технологический
Кафедра: технологий пищевых производств
Форма обучения: очная
Курс: третий
Семестр: пятый

Форма обучения: заочная
Курс: четвертый
Семестр: восьмой

**Мурманск
2021**

Методические указания разработали –Дубровин Сергей Юлианович профессор кафедры технологий пищевых производств, кандидат технических наук.

Гроховский Владимир Александрович, заведующий кафедрой технологий пищевых производств, доктор технических наук.

Рецензент: Методические указания включают общие организационно-методические рекомендации, указания по выполнению контрольных работ, требования к их оформлению, теоретическую часть и задания. Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины, изложены логично. С учетом уровня подготовки методические указания могут быть рекомендованы к использованию в учебном процессе для студентов направления 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» по дисциплинам «Холодильная технология пищевых производств» и «Основы технологии потребления холода».

_____ М.А. Ершов

Методические указания обсуждены и одобрены на заседании кафедры технологий пищевых производств« ____ » _____ **201__ г., протокол № ____**.

Заведующий кафедрой ТПП,
профессор

_____ В.А. Гроховский

Оглавление

Оглавление

Оглавление	3
Общие организационно-методические указания	4
Цель и задачи дисциплины	4
Методические указания к выполнению контрольных работ	5
Содержание контрольной работы № 1.	5
Теоретический материал	5
Рекомендуемая литература.....	8
Задания к контрольной работе № 1.	12
Содержание контрольной работы № 2.	14
Теоретический материал	14
Задания к контрольной работе № 2	17
Рекомендуемая литература	18

Общие организационно-методические указания

1. Методические указания составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения (уровень бакалавриата) утвержденного приказом Министра образования и науки РФ от 12 марта 2015 г. N 198, Учебным планом, одобренным Ученым советом ФГБОУ ВПО «МГТУ» (протокол № 14 от 19.06.2015 г.) и утвержденным ректором, рабочей программой по дисциплинам «Холодильная технология пищевых производств» и «Основы технологии потребления холода».

Цель и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины.

Основной целью изучения дисциплины «Холодильная технология пищевых производств» является формирование у студента теоретических знаний и практических навыков, необходимых для самостоятельного решения производственных задач по применению низких температур для консервирования продуктов питания, совершенствования действующих технологических процессов, разработки новых способов комплексной и рациональной переработки сырья, обеспечивающих выполнение современных требований, которые предъявляются к качеству, пищевой ценности, оптимизации технологического процесса на основе энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- основные направления научно-технического прогресса в области консервирования сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов питания охлаждением и замораживанием, а также применения низких температур в технологии соленых, сушеных и других продуктов питания;
- научные основы и способы производства охлажденной и мороженой продукции, применения холодильных технологий в области производства продуктов питания.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- работать с нормативно-технической документацией по производству охлажденной, мороженой и другой продукции, предусматривающей низкотемпературные режимы технологического процесса;
- определять оптимальные параметры технологического процесса при производстве охлажденной, мороженой и другой продукции, предусматривающей использование низких температур;
- организовывать производство охлажденной, мороженой и другой продукции, предусматривающей низкотемпературные режимы технологического процесса.

Требования к уровню подготовки бакалавров в рамках данной дисциплины. Процесс изучения дисциплины «Холодильная технология пищевых производств» направлен на формирование элементов следующих компетенций по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»:

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции
1.	ПК-3	готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических,

математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам

Изучение наиболее важных разделов рабочей программы заканчивается защитой практических, лабораторных и контрольных работ, а всей дисциплины – экзаменом.

Целью выполнения контрольных работ является закрепление у студентов, знаний о процессах, протекающих в продуктах питания при охлаждении, замораживании и холодильном хранении, и, формирующих показатели качества готовой продукции.

Методические указания к выполнению контрольных работ

Студенты очной формы обучения при изучении дисциплины «Холодильная технология пищевых производств» выполняют две контрольные работы. Номер задания выбирается в соответствии с порядковым номером фамилии студента в журнале учебной группы.

Контрольные работы оформляются с использованием персонального компьютера и распечатываются на принтере (листы формата А4, шрифт Times New Roman, размер 14, межстрочный интервал одинарный, поля: левое – 2,5; верхнее, нижнее, правое – 1,5). Допускается написание контрольной работы разборчивым почерком темными чернилами в тетради с полями.

Работа, выполненная не по своему варианту, рецензированию не подлежит.

Выполненные и зачтенные работы должны быть предъявлены преподавателю во время экзамена.

Содержание контрольной работы № 1.

На основании изучения студентами учебной, научной, справочной литературы и нормативной документации в контрольной работе (для конкретного вида охлажденной продукции указанного в задании):

1. кратко характеризуется объект обработки (место обитания, физические свойства, химический состав).
2. составляется технологическая схема изготовления продукции;
3. выполняется краткое обоснование выбранной технологической схемы;
4. рассчитываются теплофизические характеристики продукции, продолжительность ее охлаждения.

Приводится список использованной литературы.

Теоретический материал

Охлаждение - это процесс, основанный на принципе психроанабиоза, предусматривающий обработку рыбы холодом, при котором температура в толще ее тела понижается до криоскопической точки. Криоскопическая точка - температура начала кристаллообразования в мышечном соке рыбы, зависящая от концентрации в нем органических и неорганических веществ. Криоскопическая температура рыбы-сырца находится в пределах от минус 0,5 до минус 0,9 °С для пресноводных и от минус 0,9 до минус 2,6 °С - для морских рыб. При расчетах криоскопическая температура рыбы, не подвергавшейся изменению химического состава, принимается равной минус 1 °С.

Охлаждение может быть использовано как самостоятельный вид консервирования, позволяющий доставлять потребителю рыбу с высокими вкусовыми качествами, так и в качестве вспомогательной технологической операции перед направлением сырья в обработку.

При изготовлении охлажденной продукции в соответствии с требованиями стандарта, рыба должна иметь температуру в пределах от минус 1 до плюс 5 °С. В этих условиях значительно снижается активность комплекса тканевых ферментов и замедляется жизнедеятельность большинства микроорганизмов, влияющих на автолитические и гнилостные превращения компонентов тканей рыбы, что позволяет увеличить продолжительность ее хранения.

Существующие способы охлаждения сырья водного происхождения по характеру охлаждающей среды разделяют на две группы: охлаждение в гомогенной среде (газ, жидкость) и в гетерогенной среде (водный лед). Из охлаждающих средств наибольшее распространение имеют воздух, вода, лед, растворы различных солей. Кроме того, могут быть использованы аммиак, фреон, криогенные жидкости (азот, кислород, двуокись углерода), а также двуокись углерода твердая. В зависимости от вида охлаждающей среды применяются различные способы охлаждения рыбы:

- охлаждение воздухом;
- охлаждение льдом;
- охлаждение погружением в жидкие охлажденные среды (морская вода, льдоводяная смесь, растворы хлорида натрия и хлорида кальция, смеси растворов хлорида натрия и хлорида кальция);
- охлаждение криогенными жидкостями.

От свойств среды и процесса охлаждения зависит коэффициент теплоотдачи (α) приблизительные значения которого в рамках лабораторной работы могут быть взяты из таблицы 1.

Таблица 1.1

Значение коэффициента теплоотдачи (α) для различных сред

Среда и её состояние	α , Вт/(м ² ·К)
жидкость в покое (вода)	232...582
циркулирующая жидкость	2 000...4 000
воздух в покое	4,6...9,3
воздух в движении	13,4...29
дробленый лед	100...500
жидкий азот	5 000...10 000

На продолжительность процесса охлаждения продукта оказывают влияние его теплофизические характеристики, такие как удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности.

Удельная теплоемкость (C_o) и коэффициент теплопроводности (λ) продукта зависят от его температуры и химического состава. При упрощенных расчетах удельной теплоемкости продукта, имеющего положительную температуру, используют формулу (1.1):

$$C_o = C_v \cdot V + C_{с.в.}(1 - V), \text{ (кДж/кг} \cdot \text{К (1 ккал/кг} \cdot \text{градус))} \quad (1.1)$$

где: C_v – удельная теплоемкость воды 4,19 кДж/кг·К (1 ккал/кг·градус);

$C_{с.в.}$ – удельная теплоемкость сухих веществ для продуктов животного происхождения составляет 1,38...1,68 кДж/(кг·К), растительного происхождения - 0,71...1,36 кДж/(кг·К).

Удельная теплоемкость сухих веществ в среднем составляет 1,42 кДж/кг·К (0,34 ккал/кг·градус);

V – массовая доля воды в рыбе, доли единицы.

Коэффициент теплопроводности рассчитывают по формуле (1.2):

$$\lambda = \lambda_v \cdot V + \lambda_{с.в.}(1 - V), \text{ (Вт/ м} \cdot \text{К)} \quad (1.2)$$

где: λ_v – коэффициент теплопроводности воды 0,6 Вт/ м·К (0,52 ккал/м·ч·град);

$\lambda_{с.в.}$ – коэффициент теплопроводности сухих веществ продукта, который в среднем для рыбы составляет 0,255 Вт/ м·К (0,22 ккал/м·ч·град);

V – массовая доля воды в рыбе, доли единицы.

Коэффициент температуропроводности (a) продукта рассчитывают по формуле (1.3):

$$a = \frac{\lambda}{C_0 \cdot \rho}, (\text{м}^2/\text{с}) \quad (1.4)$$

где: λ – коэффициент теплопроводности продукта, Вт/ м · К;
 C_0 – удельная теплоемкость продукта, кДж/кг · К;
 ρ – плотность продукта, кг/м³.

Расчет продолжительности охлаждения продукта ведется при следующих условиях:

- теплофизические свойства охлаждаемого тела не меняются;
- температура охлаждающей среды (t_0) неизменна;
- коэффициент теплоотдачи от поверхности объекта постоянен;
- действие каких-либо дополнительных источников тепла или оттока тепла от продукта, не включенных в его теплоемкость, не учитывается.

Время охлаждения продукта может быть рассчитано на основании формул, представленных различными авторами: Д.А. Христовуло, Г.Б. Чижовым и др.

На практике широкое распространение получил упрощенный номографический способ расчета продолжительности охлаждения продукта.

Для проведения расчета необходимо определить безразмерную температуру (θ), которая может быть приблизительно вычислена по формуле (1.5):

$$\theta = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} = \frac{t_{ц} - t_c}{t_n - t_c}, \quad (1.5)$$

где: ϑ_1 – конечная избыточная температура продукта;
 ϑ_0 – начальная избыточная температура продукта;
 $t_{ц}$ – температура в центре продукта;
 t_n – начальная температура продукта;
 t_c – температура охлаждающей среды.

Определяем значение критерия Био - безразмерного коэффициента, который характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой и который можно рассматривать как отношение термического сопротивления тела к термическому сопротивлению теплообмена между окружающей средой и поверхностью тела. Физический смысл критерия Био заключается в том, что он характеризует отношение интенсивностей подвода теплоты в процессе теплоотдачи и отвода теплоты к внутренним слоям тела в результате процесса теплопроводности. Критерий Био (Bi) рассчитывают по формуле (1.6):

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda}, \quad (1.6)$$

где: α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

R – полутолщина пластины или радиус цилиндра (шара), м.

По одной из номограмм (приложение 1), в зависимости от геометрических размеров охлаждаемого тела, на основании критерия Био и безразмерной температуры определяют величину критерия Фурье (F_0).

В свою очередь, критерий Фурье характеризует соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемой системы (тела), который зависит от размеров тела и коэффициента его температуропроводности. Критерий Фурье может быть рассчитан по формуле (1.7):

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{R^2}, \quad (1.7)$$

Где: a – коэффициент температуропроводности продукта, м²/с;

R – полутолщина пластины или радиус цилиндра (шара), м;

τ – продолжительность процесса, с

Тогда продолжительность охлаждения может быть рассчитана по формуле (1.8):

$$\tau = \frac{F_0 \cdot R^2}{a}, (\text{с}) \quad (1.8)$$

где: a – коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{с}$;
 R – полутолщина пластины или радиус цилиндра (шара), м ;
 F_0 – критерий Фурье.

Пример расчета продолжительности охлаждения пеламиды дробленным льдом приведен в приложении 2.

Температура охлажденной рыбы является основным фактором, определявшим предельно допустимый срок ее хранения.

Охлажденную рыбу высокого качества готовят из живой или уснувшей рыбы, перед охлаждением её сортируют по видам и размерам. Срок хранения охлажденной рыбы можно увеличить, если перед охлаждением удалить внутренние органы и жабры.

Психроанабиоз не прекращает полностью процессы порчи рыбы, а лишь замедляет их, поэтому в процессе хранения постепенно происходит ухудшение качества продукции.

Дефекты охлажденной рыбы возникают в основном в результате посмертных изменений, протекающих в ее тканях и органах, поэтому предупреждение пороков сводится к максимальному торможению этих процессов. Для торможения бактериальных процессов, приводящих к порче охлажденной рыбы, большое значение имеет санитарное состояние производства (чистота помещений, тары, инвентаря и материалов).

К основным порокам охлажденной рыбы относятся:

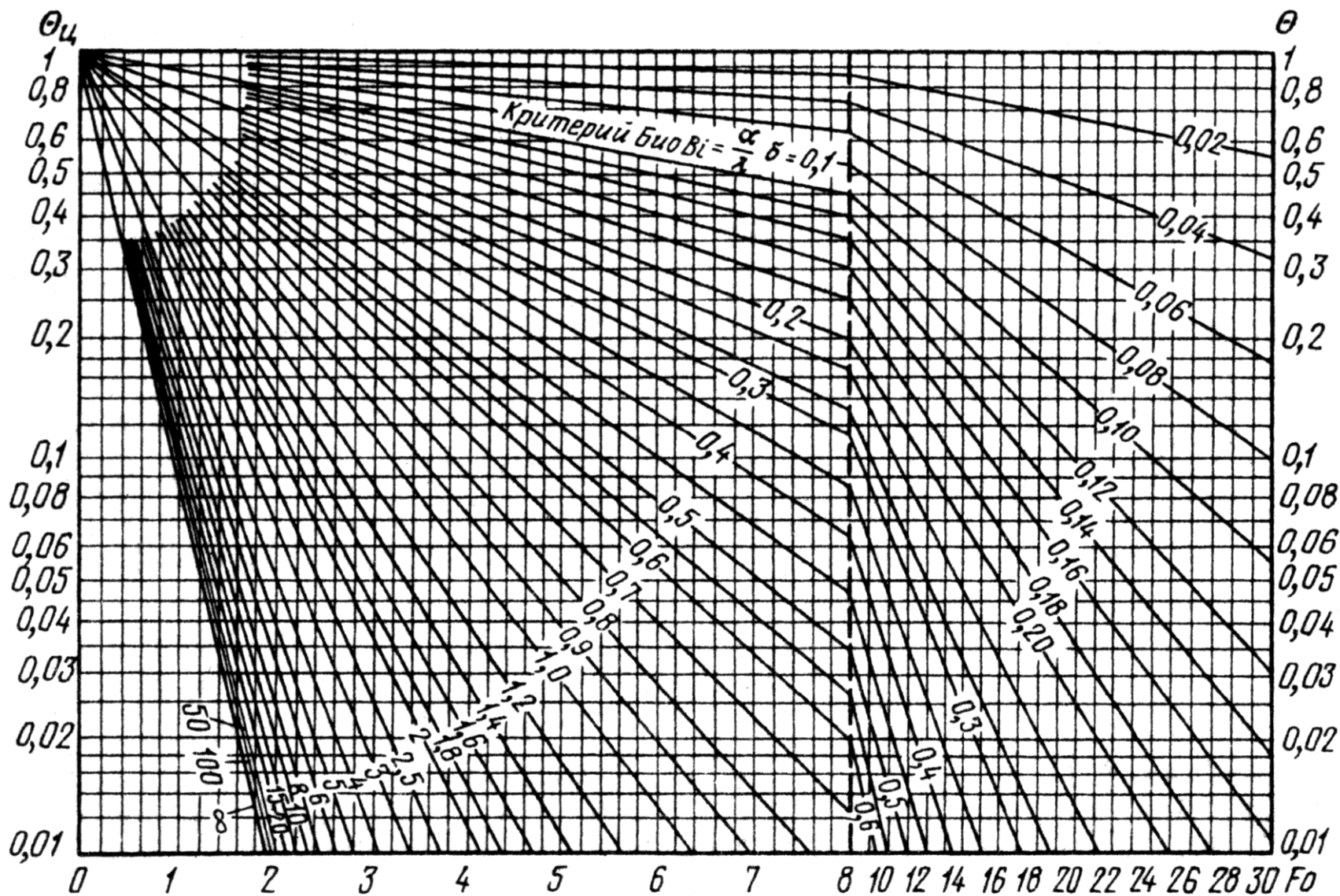
- механические повреждения;
- ослабевшая консистенция мышечной ткани;
- лопанец;
- кисловатый или гнилостный запах в жабрах;
- наличие слизи мутного цвета с непонятным запахом.

Механические повреждения рыба может иметь от кусков льда при хранении, а также в процессе погрузки и выгрузки рыбы при небрежном обращении и неправильном использовании средств механизации. Ослабевшая консистенция связана с задержкой рыбы в орудиях лова и на палубе судна до начала охлаждения. Лопанец возникает в процессе хранения рыбы вследствие ослабления и разрушения тонких стенок брюшной полости под влиянием автолиза. Появлению указанного дефекта способствует высокая активность ферментных систем сырья, механическое воздействие на рыбу, в том числе, крупных кусочков льда. Возникновение кислого или гнилостного запаха связано с воздействием психрофильной микрофлоры, интенсивно развивающейся при температуре около 0°C , на азотистые вещества крови, содержащейся в жабрах, а также слизи, находящейся на поверхности рыбы.

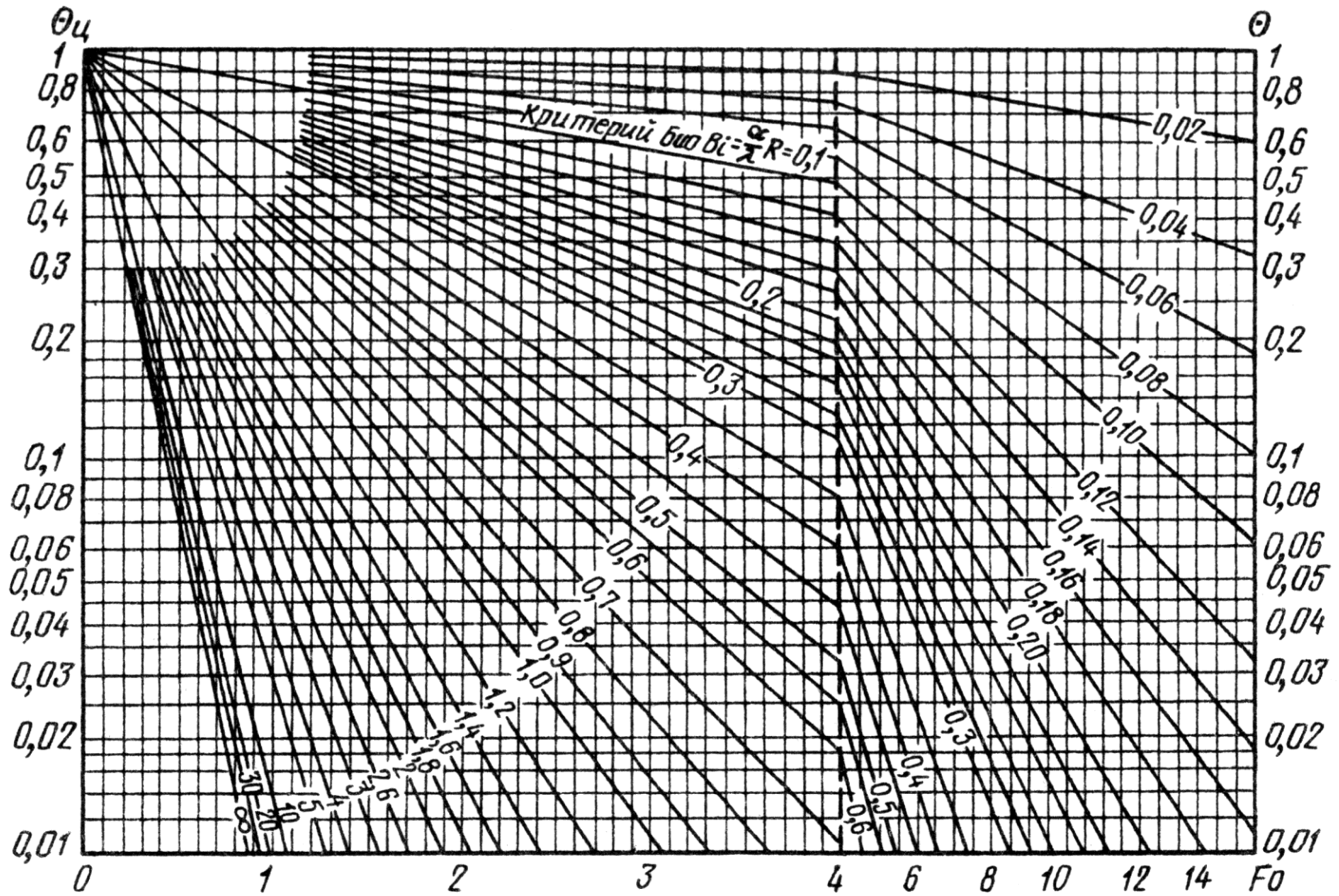
Рекомендуемая литература.

1. Технология рыбы и рыбных продуктов : учебник для вузов / [Артюхова С. А. и др.] ; под ред. А. М. Ершова. - [2-е изд.]. - Москва : Колос, 2010. - 1063 с.
2. Технология продуктов из гидробионтов/ [Артюхова С.А. и др.]; под ред. Т.М. Сафроновой и В.И. Шендерюка. – М.: Колос, 2001. 496 с.
3. ЭБС "Издательство "Лань".

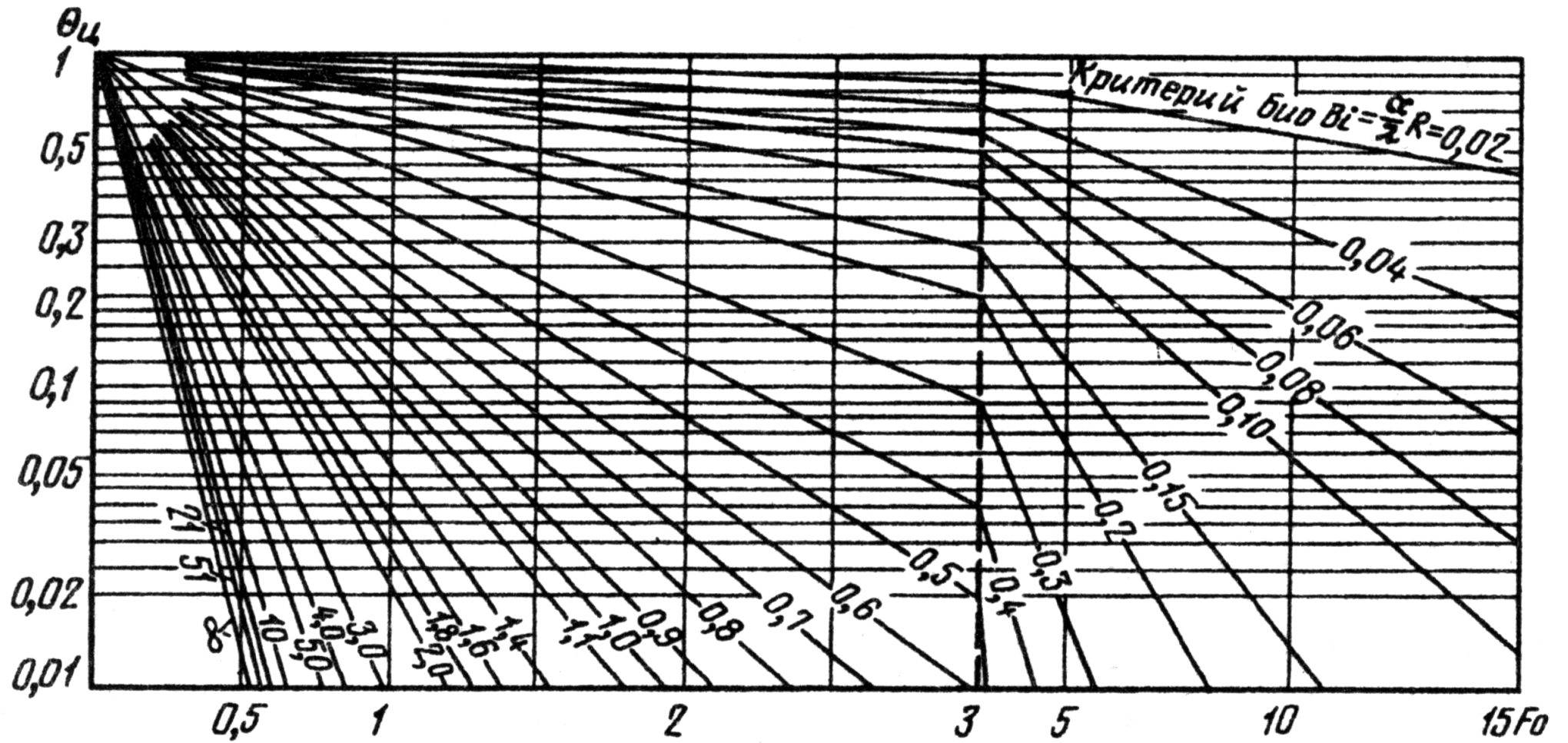
Номограмма безразмерной температуры для середины пластины.



Номограмма безразмерной температуры для оси цилиндра



Номограмма безразмерной температуры для центра шара



Пример расчета продолжительности охлаждения пелаמידы

Исходные данные:

1. Химический состав (справочные данные) пелаמידы (%): белка – 20; жира -14; минеральных веществ -2; воды – 64.
2. Диаметр тела – 8 см.
3. Начальная температура рыбы – полюс 15 °С;
4. Температура в центре охлажденного продукта – плюс 1 °С;
5. Охлаждающая среда – дробленый лед.
6. Соотношение рыба:лед – 1:1.

Решение:

- 1) Зная химический состав объекта, вычисляем его удельную теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности:

$$C = 4,19 \cdot 0,64 + 1,42 \cdot 0,36 = 3,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К};$$

$$\lambda = 0,6 \cdot 0,64 + 0,255 \cdot 0,36 = 0,48 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$a = \frac{0,48}{3190 \cdot 1000} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} \text{ (} 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч)}.$$

- 2) Учитывая начальную и конечную температуры продукта, а также температуру охлаждающей среды, вычисляем безразмерную температуру:

$$\theta = \frac{1-0}{15-0} = \frac{1}{15} = 0,07.$$

- 3) Определяем критерий Био:

По таблице 1.1 выбираем коэффициент теплоотдачи для дробленого льда. Учитывая, что соотношение рыба:лед – 1:1, т.е. поверхность рыбы достаточно полно контактирует со льдом, принимаем $\alpha = 300 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$

$$Bi = \frac{300 \cdot 0,04}{0,48} = 25$$

- 4) По номограмме для цилиндрического тела, учитывая Bi и θ , находим критерий Фурье.

$$Fo = 0,6$$

- 5) Далее рассчитываем продолжительность охлаждения:

$$\tau = \frac{0,6 \cdot 0,04^2}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 1,8 \text{ часа}$$

Задания к контрольной работе № 1.

№	Объект	Толщина (диаметр), см	Охлаждающая среда	Температура		
				Объекта		Охлаждающей среды
				Начальная	Конечная в центре	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1.	Акула полярная	25	Циркулирующая морская вода	8	2	0
2.	Берикс-альфонсин	4	Неподвижный воздух	16	0	-4
3.	Ерш морской	3	Неподвижный воздух	14	0	-2
4.	Зубатка пятнистая	14	Циркулирующая морская вода	14	1	-1
5.	Зубатка синяя	18	Дробленый лед	13	2	0
6.	Камбала	3	Неподвижный воздух	15	0	-2
7.	Мойва	1	Неподвижная морская вода	10	3	0
8.	Окунь морской	10	Циркулирующий воздух	8	2	-1

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
9.	Палтус синекорый	5	Дробленый лед	7	2	0
10.	Пикша	8	Дробленый лед	14	2	0
11.	Пинагор	11	Неподвижная вода	15	3	1
12.	Путассу	3	Циркулирующая морская вода	12	0	-1
13.	Сайда	7	Циркулирующая вода	16	3	1
14.	Сардина атлантическая	3	Циркулирующая морская вода	23	0	-2
15.	Сельдь атлантическая	3	Неподвижная морская вода	11	1	0
16.	Семга	14	Дробленый лед	12	1	0
17.	Скат звездчатый	3	Неподвижная морская вода	16	0	-1
18.	Скумбрия атлантическая	7	Циркулирующий воздух	12	0	-1
19.	Ставрида океаническая	6	Неподвижная морская вода	25	1	-1
20.	Треска	12	Циркулирующая морская вода	12	2	-1
21.	Тресочка полярная	2	Неподвижный воздух	6	0	-3

Содержание контрольной работы № 2.

На основании изучения студентами учебной, научной, справочной литературы и нормативной документации в контрольной работе (для конкретного вида мороженой продукции указанного в задании):

5. кратко характеризуется объект обработки (место обитания, физические свойства, химический состав).
6. составляется технологическая схема изготовления продукции;
7. выполняется краткое обоснование выбранной технологической схемы;
8. рассчитываются теплофизические характеристики продукции, время и скорость ее замораживания.

Приводится список использованной литературы.

Теоретический материал

Замораживанием пищевых продуктов называют технологический процесс полного или частичного превращения в лед содержащейся в них влаги вследствие отвода тепла при понижении температуры ниже криоскопической.

Способ консервирования холодом основан на том, что при понижении температуры значительно снижается жизнедеятельность микроорганизмов и активность тканевых ферментов, в результате чего замедляются биохимические реакции, протекающие в продукте.

В технологическом отношении замораживание обеспечивает высокую стойкость пищевых продуктов при последующем хранении благодаря:

превращению воды в лёд при замораживании, препятствующем питанию микроорганизмов и ухудшающем возможности диффузионного перемещения реагирующих веществ;

значительному понижению температуры среды, что действует угнетающе на микрофлору; результативному эффекту превращения воды в лед, что сходно с эффектом обезвоживания пищевых продуктов. Различие состоит в том, что при обезвоживании сушкой из продукта удаляется вода, а при замораживании этого не происходит.

Однако изменения, протекающие в тканях рыбы при замораживании и последующем холодильном хранении, приводят к нежелательным последствиям, ухудшающим органолептические, реологические и другие свойства продукции.

К основным процессам, вызывающим изменение свойств тканей рыбы при замораживании, можно отнести следующие:

- механическое разрушение структуры мышечной ткани кристаллами льда;
- денатурация белков мяса рыбы под воздействием солевых растворов, концентрация которых увеличивается при вымораживании воды;
- автолиз макроэргических веществ (аденозинтрифосфат (АТФ), креатинфосфорная кислота (КрФ), гликогена), приводящий к изменению свойств белков актомиозинового комплекса;
- ферментативный гидролиз;
- окисление липидов;
- сублимация влаги или «усушка».

Качество мороженой продукции во многом зависит от скорости замораживания, особенно на этапе интенсивного кристаллообразования воды, а также от конечной температуры, до которой заморожен продукт.

Значения линейных скоростей замораживания принято подразделять на три группы (табл.1.).

Таблица 1.

Характеристика замораживания	Классификация скорости замораживания продуктов	
	скорости	Скорость замораживания
Быстрое	м/с	см/час
	$(1,4 - 5,6) \cdot 10^{-5}$	5-20

Среднее	$(2,8 - 14) \cdot 10^{-6}$	1-5
Медленное	$(2,8 - 28) \cdot 10^{-7}$	0,1-1

Линейную скорость замораживания (v) продукта рассчитывают по формуле (1):

$$v = \frac{R}{\tau}, (\text{м/с}) \quad (1)$$

где: R – полутолщина пластины или радиус цилиндра (шара), м;
 τ – время замораживания, с.

Скорость замораживания оказывает влияние на размеры образующихся кристаллов льда и изменение концентрации веществ мышечного сока.

Для определения скорости замораживания необходимо знать не только геометрические форму и размеры продукта, но и время, за которое будет достигнута заданная температура.

Для расчета продолжительности замораживания могут быть использованы формулы, предложенные различными авторами: Р. Планком, Д.Г. Рютовым, В.Е. Куцаковой и др.

Классическим решением задачи о замораживании Международным институтом признано решение Р. Планка, полученное им в 1913 г. и существенно развитое им и другими исследователями в последующие годы.

Для упрощения задачи Р. Планком было сделано несколько допущений, которые приведены ниже:

1. Замораживанию подвергается физическое тело простой геометрической формы (пластина, шар или цилиндр) однородное по своим свойствам.
2. Теплоемкость замороженной части тела равна нулю.
3. Тело перед началом замораживания охлаждено до криоскопической температуры.
4. Льдообразование в теле происходит без переохлаждения при криоскопической температуре; теплофизические свойства замороженной части (коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость) не зависят от температуры.
5. Коэффициент теплоотдачи и температура охлаждающей среды не зависят от времени.

Формула Планка для простых тел имеет вид:

- для плоской неограниченной пластины при двустороннем замораживании (формула 2):

$$\tau = \frac{q \cdot \rho \cdot l}{t_{кр} - t_c} \left(\frac{l}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right), (\text{с}) \quad (2)$$

где: q – теплота, выделяемая единицей массы тела при замораживании, кДж/кг;

ρ – плотность замораживаемого сырья, кг/м³;

l – половина толщины замораживаемого продукта, м;

$t_{кр}$ и t_c – температуры криоскопическая и замораживающей среды соответственно, °С;

λ – коэффициент теплопроводности продукта, Вт/м · К;

α – коэффициент теплоотдачи от продукта в замораживающую среду, Вт/м² · К.

- для длинного цилиндра радиусом R (м) (формула 3):

$$\tau = \frac{q \cdot \rho \cdot R}{2 \cdot (t_{кр} - t_c)} \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right), (\text{с}) \quad (3)$$

- для шара радиусом R (м) (формула 4):

$$\tau = \frac{q \cdot \rho \cdot R}{3 \cdot (t_{кр} - t_c)} \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right), (\text{с}) \quad (4)$$

Если замораживают продукт в упаковке, то необходимо учитывать термическое сопротивление в виде термических сопротивлений дополнительных слоев.

Теплота, выделяемая единицей массы тела при замораживании, может быть определена по формуле 5:

$$q = C_o \cdot (t_n - t_{кр}) + \omega \cdot W \cdot r + C_m(t_{кр} - t_{с.к.}), \text{ кДж/кг} \quad (5)$$

где: r – скрытая теплота льдообразования (334 кДж/кг), кДж/кг;

W – доля влаги в продукте, доли единицы;

ω – доля вымороженной влаги в продукте, доли единицы;

C_0 и C_M – соответственно удельная теплоемкость незамороженного и условная теплоемкость замороженного продукта, кДж/кг·К;

$t_n, t_{кр}, t_{с.к.}$ – начальная, криоскопическая и средняя конечная температуры продукта, °С.

Количество вымороженной воды в продукте зависит от средней конечной температуры замораживания и рассчитывается по эмпирической формуле 6:

$$\omega = \frac{1,105}{1 + \frac{0,31}{\lg t_{с.к.}}}, \quad (6)$$

Средняя конечная температура, указывает на то, что в конце процесса замораживания, температура поверхности и центра продукта могут отличаться. При температуре продукта не выше минус 5 °С, зависимость этих температур носит линейный характер, в связи с чем средняя конечная температура ($t_{с.к.}$) может быть определена по формуле 7:

$$t_{с.к.} = \frac{t_{к.ц.} + t_{п.к.}}{2}, \quad (7)$$

где: $t_{к.ц.}$ – температура в геометрическом центре продукта в конце процесса замораживания, °С;

$t_{п.к.}$ – температура поверхности продукта в конце процесса замораживания, °С.

Температура поверхности продукта в конце процесса замораживания зависит от температуры замораживающей среды и определяется по формуле 8:

$$t_{п.к.} = (0,8 \sim 1,0) \cdot t_c, \quad (8)$$

где: t_c – температура замораживающей среды, °С.

Коэффициент для расчета температуры поверхности продукта выбирается в зависимости от условий теплоотдачи. При воздушном замораживании его целесообразно принять близким к 0,8, а при плиточном или рассольном – близким к 1.

Теплоемкость незамороженного продукта (C_0) зависит от его химического состава и может быть рассчитана по формуле 9:

$$C_0 = C_{с.в.} \cdot W + C_{с.в.} \cdot (1 - W), \quad \text{кДж/кг·К} \quad (9)$$

Где: $C_{с.в.}$ – удельная теплоемкость сухих веществ для продуктов животного происхождения составляет 1,38...1,68 кДж/кг·К, растительного происхождения - 0,71...1,36 кДж/кг·К;

$C_{с.в.}$ – удельная теплоемкость воды 4,19 кДж/кг·К;

W – доля влаги в продукте, доли единицы.

Условная теплоемкость мороженого продукта не включает теплоту фазового превращения воды в лед и может быть определена по эмпирической формуле 10:

$$C_M = C_0 - \frac{0,415}{1 + \frac{0,369}{\lg t_{с.п.}}}, \quad \text{кДж/кг·К} \quad (10)$$

где: C_0 – удельная теплоемкость незамороженного продукта, кДж/кг·К;

$t_{с.п.}$ – средняя температура за процесс, °С.

Значение условной теплоемкости изменяется в течение всего процесса замораживания, так как часть воды постепенно превращается в лед при понижении температуры продукта. Поэтому при расчете условной теплоемкости используют среднюю температуру за процесс, которая рассчитывается как среднелогарифмическая и может быть определена по формуле (11):

$$t_{с.п.} = \frac{t_{с.к.} - t_{кр}}{\ln \frac{t_{с.к.}}{t_{кр}}}, \quad (11)$$

где: $t_{кр}, t_{с.к.}$ – криоскопическая и средняя конечная температуры продукта, °С.

Коэффициент теплопроводности замороженных продуктов постепенно увеличивается с понижением температуры, так как теплопроводность льда больше теплопроводности воды. Коэффициент теплопроводности мороженных продуктов (λ_M) может быть рассчитан по эмпирической формуле 12:

$$\lambda_M = \lambda_0 + \frac{0,669}{1 + \frac{0,148}{\lg t_{с.п.}}}, \quad \text{Вт/м·К} \quad (12)$$

где: λ_0 – коэффициент теплопроводности не замороженного продукта, Вт/м·К;
 $t_{с.п.}$ – средняя температура за процесс, °С.

Задания к контрольной работе № 2

№	Наименование
1.	Акула полярная диаметром 30 см замораживается в рефрижераторном трюме при температуре неподвижного воздуха минус 25 °С. Температура в центре рыбы в конце процесса составляет минус 23 °С.
2.	Фарш пищевой из мяса ставриды океанической замораживается блоками размером 800·250·60 мм в плиточном морозильном аппарате до температуры в центре минус 25 °С. Температура кипения хладагента минус 30 °С.
3.	Сельдь атлантическая замораживается блоками размером 800·250·60 мм в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре блока минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 3 м/с, а его температура – минус 27 °С.
4.	Рыбные палочки из трескового фарша размером 80·20·10 мм замораживаются в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 1 м/с, а его температура – минус 24 °С.
5.	Семга толщиной 10 см замораживается в воздушном скороморозильном аппарате до температуры в центре тела минус 25 °С. Скорость движения воздуха – 2 м/с, а его температура – минус 35 °С.
6.	Филе зубатки пятнистой замораживается блоками размером 800·250·60 мм в плиточном морозильном аппарате до температуры в центре минус 18 °С. Температура кипения хладагента минус 30 °С.
7.	Филе трески замораживается в открытых коробках (с внутренними размерами 300·250·50 мм) из навощенного картона ($\delta=1,5$ мм) с полиэтиленовой оберткой в плиточных морозильных аппаратах до температуры в центре минус 25 °С. Температура кипения хладагента минус 40 °С.
8.	Рыбные котлеты из мяса пикши размером 100·60·20 мм замораживаются в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 3 м/с, а его температура – минус 30 °С.
9.	Мойва замораживается блоками размером 800·250·60 мм в плиточном морозильном аппарате до температуры в центре минус 25 °С. В аппарате используется фреон R 32
10.	Скумбрия атлантическая обезглавленная потрошенная замораживается блоками блоками размером 800·250·60 мм в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 25 °С. Скорость движения воздуха – 5 м/с, а его температура – минус 35 °С.
11.	Белокорый палтус толщиной 15 см замораживался льдосолевой смесью. Количество соли составило 25 % от массы льда. Соотношение рыба:лед – 1:1. Конечная температура в центре рыбы минус 15 °С.
12.	Морская камбала толщиной 3 см замораживалась жидким азотом до температуры в центре тела минус 25 °С.
13.	Семга толщиной 10 см замораживался льдосолевой смесью. Количество соли составило 30 % от массы льда. Соотношение рыба:лед – 1:1. Конечная температура в центре рыбы минус 12 °С.
14.	Морской золотистый окунь специальной разделки замораживали блоками размером 800·250·60 мм в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 5 м/с, а его температура – минус 30 °С.
15.	Пианагор диаметром 15 см замораживается в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 2 м/с, а его температура – минус 25 °С.
16.	Форель толщиной 8 см замораживается в воздушном скороморозильном аппарате до

	температуры в центре тела минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 3 м/с, а его температура – минус 40 °С.
17.	Ставрида океаническая неразделанная замораживается блоками блоками размером 800·250·60 мм в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре - минус 18 °С. Скорость движения воздуха – 4 м/с, а его температура – минус 36 °С.
18.	Сельдь беломорская неразделанная замораживается блоками размером 800·250·60 мм в воздушном морозильном аппарате до температуры в центре блока минус 25 °С. Скорость движения воздуха – 5 м/с, а его температура – минус 32 °С.
19.	Ледяная рыба неразделанная замораживается блоками размером 800·250·60 мм в плиточном морозильном аппарате до температуры в центре минус 18 °С. В аппарате используется фреон R 22.
20.	Крылья ската толщиной 1,5 см замораживаются в рефрижераторном трюме при температуре неподвижного воздуха минус 20 °С. Температура в центре рыбы в конце процесса составляет минус 18 °С.

Рекомендуемая литература

№	Наименование
1.	Технология рыбы и рыбных продуктов : учебник для вузов / [Артюхова С. А. и др.] ; под ред. А. М. Ершова. - [2-е изд.]. - Москва : Колос, 2010. - 1063 с.
2.	Технология продуктов из гидробионтов/ [Артюхова С.А. и др.]; под ред. Т.М. Сафроновой и В.И. Шендерюка. – М.: Колос, 2001. 496 с.
3.	Научные основы производства продуктов питания. Изучение кинетики замораживания пищевого сырья / Шокина Ю.В. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013. 19 с.
4.	Технохимические свойства промысловых рыбСеверной Атлантики и прилегающих морей Северного Ледовитого океана / Л. Л. Константинова, Ю. Ф. Двинин, Т. К. Лебская, В. И. Кузьмина ; отв. ред. Ф. М. Трояновский ; ПИНРО. - Мурманск : ПИНРО, 1997. - 183 с.
5.	Химический состав и биохимические свойства гидробионтов прибрежной зоны Баренцева и Белого морей : справочник / под ред. Т.К. Лебской, Ю.Ф. Двинина. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1998. – 150 с.