Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. Н. Альшевская

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКЦИИ ИЗ РЫБЫ И МОРЕПРОДУКТОВ

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям
для студентов, обучающихся бакалавриате
по направлению подготовки
19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГЬУ»
2022

УДК 664.95

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «КГТУ» О. В. Анистратова

Альшевская, М. Н.

Технология продукции из рыбы и морепродуктов: учеб.-методич. пособие по практическим занятиям для студ. бакалавриата по напр. подгот. 19.03.03 Продукты питания животного происхождения / М. Н. Альшевская. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 54 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению практических занятий в рамках дисциплины «Технология продукции из рыбы и морепродуктов» по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения. Практические занятия предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения навыков проведения материальных и технологических расчетов, приведены примеры и задания для их самостоятельного решения.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой технологии продуктов питания 20 мая 2022 г., протокол № 11

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 15 июня 2022 г., протокол № 7

УДК 664.95

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Альшевская М. Н., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
Практическое занятие № 1 Материальные расчеты в рыбной промышленности 16
Практическое занятие № 2 Расчет продолжительности охлаждения сырья и продуктов питания 17
Практическое занятие № 3 Расчет продолжительности замораживания и дефростации сырья и рыбных продуктов 27
Практическое занятие № 4 Расчет требуемого количества соли при производстве соленой рыбной продукции 36
Практическое занятие № 5 Технология сушеной, вяленой и копченой рыбы. Расчетные соотношения 41
Литература 45
Приложения 45
Приложение А 46
Приложение Б 51

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Технология продукции из рыбы и морепродуктов» относится к обязательной дисциплине элективного модуля по выбору «Технология рыбы и рыбных продуктов» подготовки бакалавров по направлению 19.03.03 Продукты питания животного происхождения.

Целью освоения дисциплины «Технология продукции из рыбы и морепродуктов» является формирование компетенций в области технологии переработки продукции из рыбы и морепродуктов и организации технологического процесса ее производства. В рамках дисциплины предусмотрено проведение лекционных, и практических занятий, лабораторных работ.

При проведении практических занятий предполагается комплексное использование обучающимися знаний, умений и владений, полученных при освоении дисциплины, направленное на их закрепление.

Тематический план практических занятий (ПЗ) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер	Содержание практического занятия	Кол-во часов ПЗ, форма обучения	
		очная	заочная
1	Материальные расчеты в рыбной промышленности	6	2
2	Расчет продолжительности охлаждения сырья и продуктов питания	2	1
3	Расчет продолжительности замораживания и дефростации сырья и рыбных продуктов	2	1
4	Расчет требуемого количества соли при производстве соленой рыбной продукции	2	2
5	Технология сушеной, вяленой и копченой рыбы. Расчетные соотношения	2	2
Итого		14	8

По каждому практическому занятию оформляется отчет, на основании которого проводится защита работы (цель – оценка уровня освоения учебного материала). Результаты защиты учитываются при промежуточной аттестации по дисциплине.

При подготовке к практическому занятию обучающийся предварительно должен повторить теоретические знания, полученные на лекции по данной теме, а также самостоятельно изучить специальную литературу, рекомендованную преподавателем.

При оформлении практического занятия в тетради обучающийся должен обязательно указать номер и тему занятия, её цель. Далее необходимо оформить ход практического занятия, оставив место для расчётных данных. В конце практического занятия обучающийся должен подвести итоги работы и сделать выводы.

Оценка «зачтено» по практическому занятию студенту выставляется при правильном решении практических задач по теме занятия, оформлении отчета, в который включены ответы на вопросы для самостоятельного обучения и его защите.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Практическое занятие № 1
МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ В РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Цель работы – получение практических умений и навыков составления материальных расчетов для рыбных продуктов.

Теоретическая часть

Бесперебойная, четко налаженная работа предприятия напрямую зависит от вовремя закупленного качественного сырья и вспомогательных материалов, необходимых для производства пищевых продуктов.

Для определения расхода сырья и материалов на производстве составляются материальные расчеты, которые включают в себя:

- составление *продуктового расчета* (количество сырья или полуфабриката, поступающего на каждую технологическую операцию в определенный промежуток времени (час, смена));
- составление *продуктового баланса*, необходимого для проверки правильности продуктового расчета;
- определение часовой, сменной, месячной, годовой потребности в сырье, материалах.

По предложенной схеме обычно составляются материальные расчеты при производстве пищевых продуктов из водных объектов промысла, теплокровных животных, частично плодов и овощей (консервное производство), изготавливаемых преимущественно из одного вида сырья.

При производстве мучных кондитерских изделий, хлеба и ряда других продуктов с многокомпонентной сырьевой рецептурой, производится расчет рецептур. Рецептуры определяют расход сырья для выпуска готовой продукции и позволяют оценить взаимосвязь между видами сырья на основных фазах технологического процесса, на которых происходит изменение состава или влажности полуфабриката (получение теста, сахарного сиропа и т.д.)

Для проведения материальных расчетов должны быть известны:

- сырье, из которого пищевой продукт производится, его характеристика (наименование, состояние перед направлением в обработку, вид разделки);
- ассортимент готовой продукции.

Исходными данными для материальных расчетов являются:

- нормы расхода сырья и материалов на единицу готовой продукции (тубу, ц, т);
- сменная проектная мощность предприятия (цеха, линии);
- календарный план-график работы предприятия (цеха, линии).

Под *нормой расхода сырья и материалов* понимается предельно (максимально) допустимое его количество, необходимое для производства единицы продукции, соответствующей требованиям нормативных документов.

Нормы расхода сырья и материалов включают:

- чистый (полезный) расход сырья и материалов, непосредственно входящих в готовую продукцию;

- *технологические отходы* (часть сырья и материалов, которая не может быть использована в производстве данного вида изделия), подразделяющиеся на используемые и неиспользуемые (отходы при разделке сырья, порционировании и т.д.);

- *технологические потери* сырья в производстве – безвозвратно утраченная часть сырья, полуфабрикатов, материалов, обусловленная данным уровнем техники (потери при размораживании – вытекание тканевого сока, копчении – частичное испарение влаги и т.д.).

Как было сказано выше, первой частью материальных расчетов является *продуктовый расчет*. Продуктовый расчет начинается с вычисления движения сырья и полуфабрикатов по основным технологическим операциям и ведется в расчете на единицу готовой продукции. В том случае если продукция выпускается по весу (производство охлажденной, замороженной, копченой и т.д. рыбы, мяса, колбасное производство и т.п.) за единицу принимается 100 кг готовой продукции. На консервном производстве за единицу готовой продукции принимается предельно допустимое количество сырья, материалов, необходимое для производства 1000 условных банок (1 тубы) консервов или пресервов определенного ассортимента и стандартного качества. Для рыбного консервного производства учетной банкой принята банка № 8, вмещающая 350 г. продукта.

Продуктовый расчет оформляется в виде таблицы 2, представленной ниже.

Таблица 2 – Образец таблицы продуктового расчета

Технологическая операция	Отходы и потери, % от массы сырья		Движение сырья и полуфабрикатов, кг (*масса*)					
			на единицу готовой продукции		в час		в смену	
	поступившего на данную операцию	поступившего на производство	поступает	отходы и потери	поступает	отходы и потери	поступает	отходы и потери
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прием сырья								
и т.д.								

В столбце 1 дается перечень технологических операций на пищевом производстве, для которого составляется продуктовый расчет. В столбцах 2 и 3 указываются нормативные значения отходов и потерь на соответствующих технологических операциях, заносятся исходные данные (масса сырья, поступающего на производство или масса готового продукта). В графах 4, 6, 8

указывается масса сырья поступающего на каждую технологическую операцию, в графах 5, 7, 9 – масса отходов или потерь образующихся при производстве соответственно единицы готовой продукции, за час работы предприятия или в смену. Для заполнения столбцов 6, 7, 8, 9 необходимо знать производительность предприятия по данному виду продукта и режим работы производства (количество смен и продолжительность работы смены).

При заполнении таблицы 2 первой технологической операцией для производства пищевых продуктов является прием сырья. Данные о массе сырья, поступающего на производство, приводятся в нормах расхода сырья и материалов в виде коэффициента расхода сырья. *Коэффициент расхода сырья* (переводной коэффициент) – это показатель выражающий отношение количества израсходованного сырья к количеству готовой продукции. За *коэффициент выхода готовой продукции* (полуфабриката) принимается показатель, выражающий отношение количества готовой продукции (полуфабриката) к количеству израсходованного исходного сырья.

В том случае, если нет возможности воспользоваться справочными данными (при разработке нового ассортимента продукции, изменении рецептуры и т.д.), норма расхода сырья и материалов на единицу готовой продукции определяется по формулам (1) (если отходы и потери по технологическим операциям представлены в процентах от массы сырья поступившего на производство) или (2) (если отходы и потери представлены в процентах от массы сырья, поступающего на каждую технологическую операцию):

$$T = \frac{S*100}{100-X}, \qquad (1)$$

где T – норма (масса) расхода сырья, материалов на единицу готовой продукции, кг; S – рецептурная закладка подготовленного сырья (масса готового продукта), материалов на учетную единицу готовой продукции, кг; X – суммарные потери сырья, материалов на производстве, %;

$$T = \frac{S*100^n}{(100-X_1)*(100-X_2)*\ldots*(100-X_n)}, \qquad (2)$$

где n – количество технологических операций, на которые установлены отходы и потери сырья, материалов, шт.; X_1, X_2, …, X_n – отходы и потери сырья, материалов соответственно по каждой технологической операции, %.

Правильность продуктового расчета, а также эффективность принятой технологической схемы проверяется составлением продуктового баланса, который обычно оформляется также в виде таблицы (таблица 3).

При составлении продуктового баланса нужно учитывать, что общая масса сырья и материалов (если они учитываются в продуктовом расчете)

поступивших в производство равна сумме масс готовой продукции, отходов и потерь [6].

Примеры решения задач

Пример 1

Отходы и потери при производстве консервов составили: при мойке – 1,5%; при фасовании – 3,1 %. Норма закладки рыбы на одну учетную банку 310г. Определить расход сырья на 1000 банок.

Решение:

Так как отходы и потери указаны в процентах к массе сырья, поступившего на данную операцию, то суммировать их нельзя. Следовательно, в соответствии с формулой (2) получим

$$T = \frac{310 * 100^2 * 1000}{(100 - 1{,}5)(100 - 3{,}1)} = 325 \text{ кг.}$$

Ответ: расход сырья составит 325 кг

Пример 2

Составить материальный расчёт для производства пресервов «Сельдь филе-кусочки в уксусно-масляной заливке». На производство поступает сельдь мороженая неразделанная. Разделка и порционирование машинные.

Решение:

Таблица 3 – Образец таблицы продуктового баланса

Поступило в производство	кг	%	Вышло из производства	кг	%
Сырье	Масса сырья (A_1)	% от С	Готовая продукция	Масса готовой продукции (B_1)	% от С
Материалы (если они влияют на изменение массы полуфабриката в технологическом процессе и учитываются в продуктовом балансе. Например, панирование рыбы перед обжариванием)	Масса материалов (A_2)	% от С	Отходы по всем технологическим операциям	Масса отходов (B_2)	% отходов от С
			Потери по всем технологическим операциям	Масса потерь (B_3)	% потерь от С
Итого	Общая масса $C = A_1 + A_2$	100%		$C = B_1 + B_2 + B_3$	100%

Начинаем расчет с определения норм отходов и потерь (выписываем из сборника) (таблица 4).

Таблица 4 – Нормы отходов и потерь, расход сырья на единицу продукции

Ассортимент пресервов, виды рыб, характеристика сырья	Отходы и потери в % к массе рыбы поступившей на данную операцию				В % к массе направленного сырья		Норма закладки рыбы в одну уч. банку, г	Расход на 1000 уч. банок, кг направленного сырья
	мойка, размораживание	разделка, зачистка и мойка	порционирование	фасование	всего отходов и потерь	выход фас. п/ф		
Сельдь филе-кусочки в уксусно-масляной заливке (мороженая неразделанная)	7,0	52,0	1,0	4,0	57,57	42,43	266	626,97

Если не известно количество сырья поступившего на производство, его можно рассчитать по формуле (1) или (2):

$$T = \frac{266 * 100^4}{(100 - 7{,}0) * (100 - 52{,}0) * (100 - 1{,}0) * (100 - 4{,}0)} = 626{,}97 \text{ кг};$$

$$T = \frac{266 * 100}{(100 - 57{,}57)} = 626{,}97 \text{ кг}.$$

По известным нормам отходов и потерь и количеству поступающего сырья составляет таблицы продуктового расчета и продуктового баланса (таблицы 5 и 6).

Таблица 5 – Продуктовый расчёт

Технологические операции	Отходы и потери, %	Движение сырья и п/ф на единицу продукции (туб), кг	
		поступает	отходы и потери
Приём сырья	-	626,97	-
Размораживание и мойка	7,0	626,97	43,88
Разделка, зачистка и мойка	52,0	583,09	303,20
Порционирование	1,0	279,89	2,79
Фасование	4,0	277,10	11,10
Уложено в банки	-	266,00	-

Таблица 6 – Продуктовый баланс

Поступило в производство	кг	%	Вышло из производства	кг	%
Сырьё	626,97	100	Готовая продукция Потери: Размораживание, мойка Отходы: Разделка, зачистка и мойка Порционирование Фасование	266,00 43,88 303,20 2,79 11,10	42,43 6,99 48,36 0,45 1,77
Итого:	626,97	100		626,97	100

Задание и этапы проведения практического занятия

1. Ознакомьтесь с общими сведениями о материальных расчетах. Ответьте на вопросы для самоконтроля. Разберите примеры решения задач в области составления материальных расчетов.
2. Решите задачи 1.1 – 1.2.
3. В соответствии с заданием преподавателя проведите материальные расчеты производства весовой продукции из ВБР. (задачи 1.3, 1.4).
4. В соответствии с заданием преподавателя проведите материальные расчеты производства консервов и пресервов из ВБР (задача 1.5).
5. Оформите отчет.

Задача 1.1

Отходы и потери (в % к массе рыбы) составили: при мойке 0,5 %, при разделке 27 %, при фасовке 2 %. Норма закладки рыбы в одну учетную банку 255 г. Определить расход сырья при производстве 15 000 банок пресервов.

Задача 1.2

Рассчитать количество сырья, необходимого для производства скумбрии обезглавленной слабосоленой, используя нормы отходов и потерь,

представленные в таблице 7. Составить продуктовый расчет. Проверить правильность составления продуктового расчета продуктовым балансом.

Таблица 7 – Нормы отходов и потерь, расход сырья на единицу продукции при производстве скумбрии обезглавленной слабосоленой

Ассортимент пресервов, виды рыб, характеристика сырья	Отходы и потери в % к массе рыбы поступившей на данную операцию				В % к массе направленного сырья		Расход на единицу гот. продукции направленного сырья
	мойка, размораживание	разделка, зачистка и мойка	посол	уборка	всего отходов и потерь	выход гот. продукции	
Скумбрия обезглавленная слабосоленая (мороженая неразделанная)	2,0	28,5	7,0	4,0	37,6	62,4	1,603

Задача 1.3

Составьте продуктовый расчет, баланс производства производительностью n.

Нормы отходов и потерь для решения задач представлены https://eios.klgtu.ru/mod/url/view.php?id=42187

Варианты задач указаны в нижеприведенной табличной форме:

№ п/п	Произво-дство	Сырье	Вид разделки в готовой продукции/характеристика направленного сырья	Произво-дитель-ность
1	2	3	4	5
1	Продук-ция горячего копчения	Мойва жирная	Неразделанная /мороженое	1 т/сут
2		Окунь морской, крупный, потрошеный с головой	Неразделанный/мороженое	2 т/сут
3		Окунь морской, мелкий неразделанный	Неразделанный/мороженое	0,5 т/сут
4		Сельдь атлантическая жирная неразделанная	Неразделанная/мороженое	0,4 т/сут
5		Ставрида океаническая обезглавленная	Обезглавленная/мороженое	0,5 т/сут

Продолжение

1	2	3	4	5
6	Холод-ного копчения	Мойва жирная	Неразделанный/мороженое	0,3 т/сут
7		Сардинелла спинка	Спинка /мороженое, неразделанное	0,2 т/сут
8		Сельдь атлантическая жирная полупотрошеная	Полупотрошеная /неразделанный соленый полуфабрикат	0,5 т/сут
9		Сельдь атлан-тическаяполупотрошеная	Полупотрошеная /неразделанный соленый полуфабрикат	1 т/сут
10		Скумбрия атлантическая обезглавленная	Обезглавленная/неразделанная, мороженое	0,5 т/сут
11		Скумбрия атлантическая потрошеная, обезглавленная	Потрошеная, обезглавленная /неразделанная, мороженое	0,2 т/сут
12		Сардинелла обезглавленная	Обезглавленная /мороженая, неразделанное	1 т/сут
13	Мороже-ной рыбы	Окунь морской	Потрошенный с головой	18 т/сут
14		Палтус	Филе с к ожей	20 т/сут
15		Сардинелла	Тушка спецразделки (машинная)	10 т/сут
16		Тунец	Потрошенный обезглавленный	23 т/сут
17			Кусок, спецразделки, блоками	8 т/сут
18			Филе без кожи	5 т/сут
19			Кусок, спецразделки, блоками	23 т/сут

Задача 1.4

Составьте продуктовый расчет, баланс производства производительностью n.

Нормы отходов и потерь для решения задач представлены https://eios.klgtu.ru/mod/url/view.php?id=42187

Варианты задач указаны в нижеприведенной табличной форме:

№ п/п	Производ-ство	Сырье	Вид разделки в готовой продукции/характеристика направленного сырья	Произво-дитель-ность
1	Слабосоленой продукции (полуфабриката – п/ф) из мороженой рыбы, рыбы-сырца	Скумбрия атлантическая	Потрошеная с головой	8 т/сут
2		Сардина (п/ф)	Обезглавленная/рыба-сырец	2 т/сут
3		Сельдь атлантическая жирная	Неразделанная /мороженое	10 т/сут
4			Тушка/ мороженое	8 т/сут
5		Сельдь атлантическая	Неразделанная /мороженое	8 т/сут
6			Кусочки/ мороженое	3 т/сут
7	Производ-ство пряной, маринованной продукции	Мойва жирная	Неразделанная/ мороженое	4 т/сут
8			Обезглавленная, рыба-сырец	3 т/сут
9	Продукции горячего копчения	Мойва жирная	Неразделанная /мороженое	1 т/сут
10		Окунь морской, крупный, потрошеный с головой	Неразделанный/мороженое	2 т/сут
11		Окунь морской, мелкий неразделанный	Неразделанный/мороженое	0,5 т/сут
12	Холодное копчение	Мойва жирная	Неразделанный/мороженое	0,3 т/сут
13	Холодное копчение	Сардинелла	Спинка /мороженое, неразделанное	0,2 т/сут
14		Сельдь атлантическая жирная	Полупотрошеная /неразделанный соленый полуфабрикат	0,5 т/сут
15		Сельдь атлантическая	Полупотрошеная /неразделанный соленый полуфабрикат	1 т/сут
16		Сельдь атлантическая жирная	Полупотрошеная /неразделанный соленый полуфабрикат	0, 7 т/сут
17	Мороженых морепродуктов	Кальмар	Тушка/мороженое	4 т/сут
18		Крабы	Тушка/мороженое	8 т/сут
19		Мидии	Тушка/мороженое	3 т/сут

Задача 1.5

Составьте продуктовый расчет, баланс производства производительностью n.

Нормы отходов и потерь для решения задач представлены https://eios.klgtu.ru/mod/url/view.php?id=42187

Варианты задач указаны в нижеприведенных табличных формах:

№ п/п	Произ-водство	Сырье	Вид разделки в готовой продукции/характеристика направленного сырья	Произ-води-тельность
1	Произ-водство консер-вов	«Ледяная рыба бланшированная в масле»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка, машинное порционирование	2 туб/сут
2			/Мороженое, неразделанное, ручная разделка, ручное порционирование	5 туб/сут
3		«Сардинелла бланшированная в масле»	/Сырец, машинная разделка, машинное порционирование	8 туб/сут
4			/Сырец, ручная разделка, ручное порционирование	7 туб/сут
5		«Камбала обжаренная в масле»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка, ручное порционирование	10 туб/сут
6			/Мороженое, потрошеное с головой, ручная разделка, ручное порционирование	6 т/сут
7		«Сардина атлантическая обжаренная в масле»	/Мороженое, неразделанное, машинная разделка, машинное порционирование	2 туб/сут
8			/Мороженое, обезглавленное, машинная разделка, машинное порционирование	5 туб/сут
9		«Сельдь обжаренная в масле»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка, ручное порционирование	8 туб/сут
10		«Сардина атлантическая обжаренная в масле»	/Мороженое, неразделанное, машинная разделка, машинное порционирование	6 туб/сут

№ п/п	Произ-водство	Сырье	Вид разделки в готовой продукции/характеристика направленного сырья	Произ-води-тельность
11			/Мороженое, обезглавленное, машинная разделка, машинное порционирование	2 туб/сут
12	Производство пресервов	«Сардина атлантическая тушка в различных соусах»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка	1 туб/сут
13		«Сардина атлантическая филе-кусочки в различных соусах»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка, ручное порционирование	2 туб/сут
14		«Сардина атлантическая филе в различных соусах»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка	3 туб/сут
15		«Сельдь тушка в различных соусах и заливках»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка	1 туб/сут
16		«Сельдь филе-кусочки в различных соусах и заливках»	/Мороженое,неразделанное, ручная разделка, ручное порционирование	0,5 туб/сут
17	Производство пресервов	«Сельдь филе в различных соусах и заливках»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка	0,8 туб/сут
18		«Сельдь тушка в различных соусах и заливках»	/Мороженое, неразделанное, ручная разделка	3 туб/сут
19			/Мороженое, неразделанное, машинная разделка	5 туб/сут

Вопросы для самоконтроля

1. Какие исходные данные необходимы для составления материальных расчетов?
2. Для чего на производстве составляются материальные расчеты?
3. Что включают в себя материальные расчеты?
4. Что понимается под нормой расхода сырья и материалов?
5. Что включают нормы расхода сырья и материалов?
6. Что такое технологические отходы?
7. Что такое технологические потери?
8. Что принимают за единицу готовой продукции?
9. Какие формулы используются для определения нормы расхода сырья и материалов на единицу готовой продукции?
10. Что такое коэффициент расхода сырья и коэффициент выхода готовой продукции?

Практическое занятие № 2
РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Цель работы – получение практических умений и навыков расчета теплофизических характеристик и количества холода, необходимого для охлаждения водных биологических ресурсов (ВБР), продолжительности охлаждения.

Теоретическая часть

Охлаждение – это процесс быстрого понижения температуры продукта от начальной до конечной. При производстве и хранении охлажденной продукции ее температура становится близкой к криоскопической точке тканевого сока, но не должна быть ниже последней. Это физический способ консервирования, основанный на принципе анабиоза (психроанабиоз).

При охлаждении происходит передача теплоты (энергии) от одного тела к другому. Для передачи теплоты от одного тела к другому обязательным условием является разность температур тел, причем теплота передается от тела с более высокой температурой к телу с более низкой. Тело с более высокой температурой получило название *источника теплоты*, а тело с более низкой температурой – *приемника теплоты* (теплоприемника).

Передача теплоты может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. В расчетах по холодильной технологии пищевых продуктов часто используется понятие теплопроводности.

Теплопроводность – процесс передачи теплоты от одной частицы тела к другой или от одного тела к другому, когда эти тела соприкасаются друг с другом. Нагрев любого тела с одной стороны приводит к тому, что через некоторое время холодная часть тела начинает нагреваться. Молекулы нагретой части тела имеют скорость большую, чем молекулы холодной части. Перемещаются они на большее расстояние и при столкновении с молекулами холодной части тела передают им часть своей энергии. Увеличение энергии молекул холодной части тела приводит к повышению температуры. Теплопроводностью теплота может передаваться не только внутри однородного тела. Если два тела плотно соприкасаются друг с другом, то через контакт этих тел передается теплота. Теплопроводностью теплота может передаваться и через жидкие и газообразные тела.

Расчет теплофизических характеристик и количества холода, необходимого для охлаждения

Наиболее важными для холодильной технологии теплофизическими характеристиками (ТФХ) являются: с – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К); λ – теплопроводность, Вт/(м·К); а – температуропроводность, $м^2/с$; i – энтальпия, кДж/кг.

Удельная теплоемкость изменяется в довольно широких пределах в зависимости от вида продукта. При расчете холода, затрачиваемого на охлаждение, обычно принимают среднее значение удельной теплоемкости,

которое рассчитывают или берут из соответствующих таблиц. Если считать пищевые продукты двухкомпонентными смесями, содержащими W частей воды и (1 – W) частей сухих веществ с соответствующими удельными теплоемкостями, то удельная теплоемкость продукта c_0

$$c_0 = c_w W + c_c(1 - W), \quad (3)$$

где c_w – теплоемкость воды, c_w = 4,19 кДж/(кг·К); c_c – теплоемкость сухих веществ, c_c = 1,42 кДж/(кг·К) – для продуктов животного происхождения, c_c = 0,91 кДж/(кг·К) – для продуктов растительного происхождения; W – содержание воды в продукте, кг/кг.

Таким образом, чем больше воды в продукте, тем больше его теплоемкость.

Теплопроводность λ также зависит от химического состава продукта. Ее значения можно взять из справочника или приближенно рассчитать по различным эмпирическим формулам.

При температурах от 0 до 30°С значения с и λ изменяются несущественно.

Температуропроводность а определяется по формуле:

$$a_0 = \frac{\lambda_0}{c_0 \rho}, \quad (4)$$

где c_0 – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); λ_0 – теплопроводность продукта, Вт/(м·К); ρ – плотность продукта, кг/м^3.

Удельная энтальпия – количество тепла, содержащегося в единице массы продукта. При элементарном изменении температуры Δt (°С) приращение удельной энтальпии Δi есть удельная теплота изобарного процесса:

$$\Delta i = c_0 \Delta t. \quad (5)$$

Итак, процесс охлаждения заключается в отводе теплоты от тела, имеющего высокую температуру, к телу с более низкой температурой.

Интенсивность теплоотвода от продукта при охлаждении прямо пропорциональна величине коэффициента теплоотдачи, удельной поверхности продукта и разности температур продукта и охлаждающей среды. Наиболее интенсивным теплоотвод будет в первый период охлаждения, когда Δt имеет максимум. Отсюда следует, что для обеспечения высокой скорости процесса охлаждения необходимо поддерживать как можно более низкую температуру охлаждающей среды, которая практически может быть для большинства продуктов не ниже минус 3 °С во избежание возможного льдообразования в поверхностных тканях охлаждаемого продукта. В связи с этим лучшими охлаждающими средами являются: лед из морской воды, морская вода или солевой раствор (2-4 % поваренной соли), имеющие температуру, близкую к минус 3 °С, а также льдосолевая смесь (4–6 % поваренной соли к массе льда). Применение этих сред позволяет быстро и глубоко охладить продукты, сохранив их качество.

Интенсифицировать процесс охлаждения можно за счет увеличения *коэффициента теплоотдачи* α. Величина α зависит от вида охлаждающей среды и условий процесса охлаждения. Охлаждающие среды в состоянии покоя имеют следующие значения α: воздух 4,6–9,3; водный лед 116; жидкость 230–250 Вт/(м^2·К). Значения α значительно возрастают при циркуляции охлаждающей среды. Например, для жидкости в зависимости от скорости циркуляции α может возрастать до 550 Вт/(м^2·К).

Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м^2·К) для воды принимают в соответствии со скоростью ее движения: v = 0,0 м/с – α = 230 Вт/(м^2·К); v = 0,2 м/с – α = 430 Вт/(м^2·К).

Скорость охлаждения максимальна при использовании циркулирующих жидких сред и минимальна при охлаждении в воздухе. Промежуточное значение занимает способ охлаждения льдом.

Количество тепла Q_0 (в кДж), выделенное продуктом при его охлаждении от начальной температуры t_n до конечной среднеобъемной температуры охлаждения t_v, упрощенно определяют по формуле (6) или (7)

$$Q_0 = Gc_0(t_n - t_v), \tag{6}$$

$$Q_0 = Gc_0(t_n - t_c)(1 - \theta_v), \tag{7}$$

где Q_0 – расход холода на охлаждение продукта, кДж; G – масса охлаждаемого продукта, кг; c_0 – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); t_n – t_v = Δt – соответственно разница между начальной t_n и конечной среднеобъемной t_v температурой продукта, ºС; t_c – температура охлаждающей среды, ºС; θ_v – безразмерная среднеобъемная температура.

В процессе охлаждения скорость понижения температуры продукта – величина переменная, уменьшающаяся по мере снижения температуры объекта. В связи с этим количество тепла, выделяемое продуктом, будет максимальным в начале процесса и минимальным в конце; соответственно изменяется и тепловая нагрузка на охлаждающие устройства (или количество тепла, воспринимаемое приборами охлаждения).

Продукт охлаждается в результате отдачи теплоты в окружающую среду. Количество тепла, выделяемое 1 кг продукта при его охлаждении в любом заданном интервале температур q_0 (кДж/кг), легко определяется также по разности энтальпий

$$q_0 = i_n - i_v. \tag{8}$$

Общее же количество тепла Q_0 (в кДж) при охлаждении G кг продукта будет составлять

$$Q_0 = Gq_0. \tag{9}$$

В приведенных формулах i_n – энтальпия продукта при t_n, кДж/кг; i_v – энтальпия продукта при t_v или какой-либо иной промежуточной температуре, кДж/кг; q_0 – количество тепла, выделяемое 1 кг продукта при охлаждении от t_n до t_v, кДж/кг.

Значения энтальпии берут из соответствующих таблиц (приложение А).

Среднеобъемной температурой тела, температурное поле которого непостоянно, называется температура, которая может быть достигнута, если объект поместить в адиабатные условия:

$$t_v = t_z - \Psi(t_z - t_p), \tag{10}$$

где t_v – среднеобъемная температура, °С; t_z – конечная температура в центре продукта, °С; t_p – конечная температура на поверхности продукта, °С; Ψ – коэффициент, определяемый формой тела: при охлаждении в воздухе Ψ для пластины равен 1/3, цилиндра – 1/2, шара – 3/5; при охлаждении в жидкости Ψ для пластины равен 1/4, цилиндра – 2/5, шара – 1/2.

При линейном распределении температур среднеобъемная температура пластины приближенно может быть найдена как средняя арифметическая температура поверхности и центра продукта:

$$t_v = \frac{(t_c + t_p)}{2}. \tag{11}$$

Знание среднеобъемной температуры продукта важно с практической точки зрения. Например, когда продукт после охлаждения направляют в камеру холодильного хранения, то это не должно вызывать повышения или понижения температуры в камере. Поэтому обязательным условием является соответствие среднеобъемной температуры продукта температуре воздуха в камере хранения.

Способы расчета продолжительности охлаждения

Продолжительность охлаждения продуктов зависит от их свойств, свойств охлаждающей среды и условий, при которых протекает процесс (толщина продукта, его ТФХ, плотность, температура и вид охлаждающей среды, скорость и характер движения среды, коэффициент теплоотдачи от продукта к охлаждающей среде).

Для расчета продолжительности охлаждения продукта необходимо точное выражение упомянутой выше сложной зависимости – знание количественных выражений постоянных и переменных показателей продукта и охлаждающей среды. В связи с этим расчет продолжительности охлаждения продукта труден и сложен, а на практике продолжительность охлаждения определяют на основе опытных данных.

Для приблизительного расчета продолжительности охлаждения условно несколько упрощают процесс, в действительности состоящий из ряда разнообразных физических явлений. Так, например, отвод тепла при охлаждении рассматривается в условиях постоянных ТФХ объекта, постоянной температуры теплоотводящей среды и постоянного коэффициента теплоотдачи на поверхности тела, а также отсутствия внешнего и внутреннего источников тепла.

Относительно простое и вместе с тем удобное для практических целей решение задачи, даёт формула А. Фикина. Это решение используется для приближенной оценки длительности охлаждения.

$$\tau_0 = \frac{FR^2}{a_0}\left[\left(\frac{2,3}{Bi_0} + 0,8\right) lg\,\frac{t_n - t_c}{t_z - t_c} + 0,12\right], c, \quad (12)$$

где F – коэффициент, учитывающий форму продукта (для тела в форме пластины F = 1, для цилиндра F = 1/2, для шара F = 1/3); R – определяющий геометрический размер тела, м (половина толщины пластины, радиус цилиндра или шара); а – коэффициент температуропроводности продукта, $м^2/с$; t_c – температура охлаждающей среды, ºС; t_n и t_z – соответственно начальная и конечная температура центра охлаждаемого продукта, ºС; Bi_0 – критерий Био, определяемый по формуле

$$Bi_0 = \frac{\alpha R}{\lambda_0}, \quad (13)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от продукта к среде, $Вт/(м^2 \cdot К)$; λ_0 – теплопроводность продукта, Вт/(м·К).

При решении задачи следует обратить внимание на α $Вт/(м^2 \cdot К)$; R, м; t_c, ºС – параметры, определяющие интенсивность охлаждения продуктов, поскольку интенсивность процесса охлаждения влияет на длительность последующего холодильного хранения.

Решение задачи упрощается, если для решения используются номограммы для тел стандартной стереометрической формы (см. рисунки приложения В). В методическом указании представлены номограммы для тел, форма которых подобна пластине и шару. На практике наиболее часто требуется оценить длительность охлаждения продукта в его центре.

При оценке длительности охлаждения на основе номограмм, решение задачи сводится к последовательному определению величин:

– безразмерной температуры θ или (1 – θ) в зависимости от используемого графика) по формуле (14) (точка **А** на рисунке 1)

$$\theta_{(v,p,z)} = \frac{t_{(v,p,z)} - t_c}{t_n - t_c}, \quad (14)$$

где $t_{(v,\ p,\ z)}$ – конечная температура процесса, которая может быть соответственно среднеобъемной, температурой поверхности и температурой центра, ºС;

– кривой, соответствующей величине критерия Био. Пересечение горизонтальной линии из точки А с кривой Bi даёт точку **В**;

– перпендикуляр на линию, соответствующую критерию Фурье (формула (15)) приводит к точке **С**

$$F_o = \frac{a_0 \tau_0}{R^2}, \quad (15)$$

где τ_0 – продолжительность охлаждения [6].

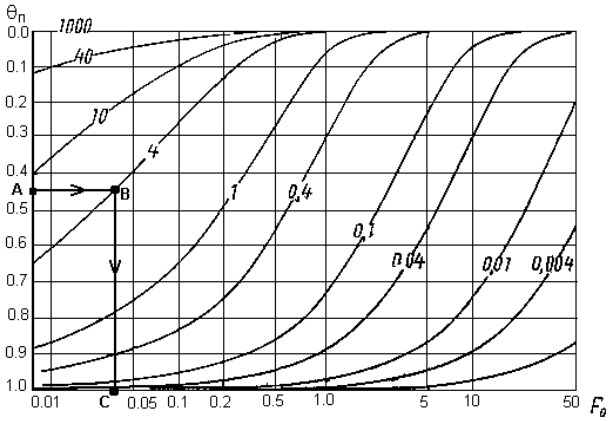

Рисунок 1 – Порядок пользования номограммой

Из величины числа Фурье (F_o) определяется длительность охлаждения продукта.

Количество теплоты, отводимой в процессе охлаждения, определяется по формуле

$$Q = M_н\, C_п\, (t_н - t_к),$$

где $M_н$ – масса охлаждаемого продукта, кг; $C_п$ – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); $t_н$ – начальная температура, К; $t_к$ – конечная температура, К.

Средний часовой расход холода определяют по формуле

$$Q_ч = Q / \tau,$$

где Q – количество теплоты, отводимой от продукта, кДж; τ – продолжительность охлаждения, ч.

Количество теплоты, которое необходимо отвести, можно определитьпо разности энтальпий по формуле

$$Q = M_{н*}(i_н - i_к),$$

где $i_н$ – удельная энтальпия рыбы в начале охлаждения, кДж/кг; $i_к$ – удельная энтальпия в конце охлаждения, кДж/кг.

Массу льда, теоретически необходимую для охлаждения, определяют по формуле

$$G_л = Q /[r + C_л(t_{кр} - t_н)],$$

где Q – количество теплоты, отводимой при охлаждении, кДж; r – теплота плавления льда, кДж/кг, $r = 334{,}4$ кДж/кг; $C_л$ – теплоемкость льда, кДж/(кг·К)).

При охлаждении наблюдаются различные потери холода в окружающую среду. Поэтому применяемые в промышленности нормы расхода значительно отличаются от теоретически рассчитанного расхода льда.

Разницу между практическим и теоретическим расходом льда называют «запасом» льда.

Специфика охлаждения рыбы.

На судах с охлаждаемыми трюмами для охлаждения и транспортирования рыбы в ящиках в холодное время года расходуется 30 %, а в теплое 40
% льда к массе рыбы.

Для охлаждения рыбы смесью льда и соли при транспортировании в прохладное время года расход льда составляет 50–60 % к массе рыбы, соли – 5 % к массе льда. В жаркое время года при температуре воздуха 25 °С и выше лед берут в количестве 100 %, а соль – 5 – 10 % к массе рыбы.

В качестве охлаждающей жидкости используют морскую воду или 2 – 4 %-й раствор поваренной соли в пресной воде. Температура охлаждающей жидкости в пределах 0…–2 °С, а соотношение массы рыбы и воды от 1:1 до 1:2.

Примеры решения задач

Пример 1

Определить количество теплоты, которая будет отведена при охлаждении 5000 кг морского окуня при температуре от 20 до 0 °С.

Решение:

В соответствии с формулой 66 количество отводимого тепла будет равно

$Q = 5000 \cdot 3{,}38 \cdot 20 = 3{,}38 \cdot 10^5$ кДж.

Ответ: $3{,}38 \cdot 10^5$ кДж

Пример 2

В холодильной камере охлаждается пастила размером 2,0 х 2,0 х 0,2 м, от начальной температуры t_n = 50 °С. Температура воздуха в камере t_c = 0 °С, коэффициент теплоотдачи α = 15 Вт/(м^2·К). Содержание влаги в продукте W = 60,0 %, плотность ρ = 580 кг/м^3, коэффициент теплопроводности λ_0 = 0,50 Вт/(м·К).

Определить теплофизические свойства продукта: теплоемкость, коэффициент температуропроводности.

Найти длительность охлаждения пастилы и количество отведенной теплоты до получения температуры ее средней плоскости, равной t_z (x/R=0) = 20 °С. Какая при этом будет температура наружных поверхностей и среднеобъемная температура?

При расчете охлаждение считать двусторонним симметричным. Массу продукта при расчетах принять 10 кг.

Задачу решить двумя способами.

Решение:

Поскольку толщина пастилы на порядок меньше двух других размеров, по форме ее можно считать близкой к плоской безграничной пластине. Характерным размером пластины при симметричном охлаждении является половина толщины $R = \delta/2$ = 0,1 м.

Определим теплофизические свойства:

$$\lambda_0 = 0{,}50 \text{ Вт/(м·К)}; \ \rho = 580 \text{ кг/м}^3;$$

$$c_0 = c_w W + c_c(1 - W) = 4{,}19 * 0{,}60 + 1{,}42 * (1 - 0{,}60) = 3{,}08 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$a_0 = \frac{\lambda_0}{c_0 \rho} = \frac{0{,}50}{3{,}08 * 10^3 * 580} = 2{,}8 * 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Вычисляем критерии Био:

$$Bi_0 = \frac{\alpha * R}{\lambda_0} = \frac{15 * 0{,}1}{0{,}50} = 3.$$

Определяем безразмерную температуру:

$$\theta_z = \frac{t_z - t_c}{t_n - t_c} = \frac{20 - 0}{50 - 0} = 0{,}4.$$

$\theta_z = \theta_0$. Следовательно, $(1 - \theta_0) = 0{,}6$.

При использовании номограммы для центра пластины по известным $(1 - \theta_0)$ и Bi определяем критерий Фурье:

$$F_o = 0{,}8.$$

Следовательно, продолжительность охлаждения:

$$\tau_0 = \frac{F_o * R^2}{a_0} = \frac{0{,}8 * 0{,}1^2}{2{,}8 * 10^{-7}} = 28570 \ c = 7{,}9 \text{ ч}.$$

По номограмме для поверхности пластины, зная критерии Bi и F_o находим $(1 - \theta_{ст})$.

$$(1 - \theta_{ст}) = (1 - \theta_p) = 0{,}96.$$

Следовательно, $\theta_p = 1 - 0{,}96 = 0{,}04$

Выводим t_p из формулы (14) для безразмерной температуры

$$t_p = \theta_p(t_n - t_c) + t_c,$$

$$t_p = 0{,}04 * (50 - 0) + 0 = 2°\text{C}.$$

Поскольку у нас безграничная пластина, воспользуемся формулой (11) для определения среднеобъемной температуры

$$t_v = \frac{(t_z + t_p)}{2} = \frac{20 + 2}{2} = 11 \ °\text{C}.$$

Кроме того, определим среднеобъемную температуру по соответствующей номограмме (табл. А4 приложения), используя критерии Bi и Fo. Находим

$$(1 - \theta_{ср}) = (1 - \theta_v) = 0{,}7.$$

Следовательно , $\theta_v = 1 - 0{,}7 = 0{,}3$.

Выводим искомую среднюю по объему температуру t_v из формулы (14) для безразмерной температуры

$$t_v = \theta_v(t_n - t_c) + t_c,$$

$$t_v = 0{,}3(50 - 0) + 0 = 15°\text{C}.$$

Количество теплоты, отведенной от плиты к моменту времени τ_0, подсчитываем по формулам (6) и (7)

$$Q_0 = 10 * 3{,}08 * (50 - 11) = 1201{,}2 \text{ кДж},$$

$$Q_0 = 10 * 3{,}08 * (50 - 15) = 1078 \text{ кДж},$$

$$Q_0 = 10 * 3{,}08 * (50 - 0) * (1 - 0{,}3) = 1078 \text{ кДж}.$$

Продолжительность охлаждения можно определить с использованием эмпирической формулы А. Фикина (12). Это решение используется для приближенной оценки длительности охлаждения.

$$\tau_0 = \frac{1*0,1^2}{2,8*10^{-7}}\left[\left(\frac{2,3}{3}+0,8\right) lg\,\frac{50-0}{20-0}+0,12\right] = 26551,4\text{ с} = 7,4\text{ ч}\,.$$

Ответ: теплоемкость пастилы 3,08 кДж/(кг·К), температуропроводность $2,8 \cdot 10^{-7}$ м^2/с, температура поверхности 2 °С, среднеобъемная температура 11 и 15 °С, продолжительность охлаждения 7,9 и 7,4 ч, количество отведенной теплоты от 10 кг пастилы 1201,2 и 1078 кДж.

Задание и этапы проведения практического занятия

1. Ознакомьтесь с принципами расчета теплофизических характеристик рыбы и количества холода, необходимого для ее охлаждения, способами расчета продолжительности охлаждения рыбы. Ответьте на вопросы для самоконтроля.
2. Изучите примеры решения задач.
3. В соответствии с заданием преподавателя решите задачи 2.1 – 2.2.
4. Оформите отчет по работе.

Задача 2.1

Номер варианта	Условия задачи
1	3000 кг рыбы охлаждается от 10 до 0 °С. Какое количество теплоты для этого необходимо отвести?
2	30 000 кг рыбы расфасовано по 20 кг в ящики и охлаждается от 20 до 2 °С. Масса одного ящика 5 кг. Определить расход теплоты на охлаждение ящиков, изготовленных из пластмассы теплоемкостью 1,801 кДж/(кг*К)
3	Рыба транспортируется в жаркое время года. Определить количество льда, необходимого для охлаждения 20 т рыбы. Сколько соли потребуется при этом? На сколько сократился бы расход льда и соли на охлаждение рыбы, если бы она транспортировалась в прохладных условиях?
4	В качестве охлаждающей жидкости используется 3%-ный раствор поваренной соли. Какое количество соли потребуется для приготовления раствора для охлаждения 10 т рыбы, если соотношение массы рыбы и воды 1:1?
5	Определить массу льда, теоретически необходимую для 5000 кг рыбы при ее охлаждении от 20 до 0 °С.
6	Какое количество теплоты необходимо отвести от 3000 кг рыбы при ее охлаждении от 15 до 2 °С?
7	Рыба транспортируется на судах с охлаждающимися трюмами. На сколько больше рыбы можно транспортировать в холодное

Номер варианта	Условия задачи
	время года, чем в теплое, если количество льда, расходуемого на охлаждение, одно и то же?

Задача 2.2

Рассчитать температуру в термическом центре охлаждаемого продукта заданного вида. По варианту необходимо выбрать продукт и данные к нему по приложению А (таблицы П.А.1 и П.А.2).

Расчёты следует выполнять в следующей последовательности:

1. Определить температуропроводность продукта.
2. Рассчитать критерий Био.
3. Рассчитать критерий Фурье.
4. По номограммам приложения А (рисунки П.А.2, П.А.3) найти значение величины безразмерной температуры с учётом конкретной физической модели.
5. Определить t_z (x/R=0), зная безразмерную температуру.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой должна быть температура охлажденного продукта?
2. От чего зависит криоскопическая температура?
3. Как изменяются теплофизические характеристики при охлаждении?
4. От чего зависит интенсивность охлаждения продукта?
5. Что характеризует критерий Био?
6. Какими способами можно рассчитать продолжительность охлаждения?
7. Какие данные необходимы для расчета продолжительности охлаждения?
8. Почему важно знать среднеобъемную температуру продукта?
9. Как пользоваться номограммами?
10. На чем основан расчет количества теплоты, которую необходимо отвести от продукта при охлаждении?

Практическое занятие № 3
РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ДЕФРОСТАЦИИ СЫРЬЯ И РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ

Цель работы – получение практических умений и навыков расчета процесса замораживания и дефростации пищевых продуктов, изменением теплофизических характеристик продуктов питания при замораживании.

Теоретическая часть

Замораживание – консервирование сырья при температурах, значительно ниже криоскопических температур тканевого сока, когда большая часть воды, содержащейся в биологическом объекте, превращается в лед. При замораживании водного сырья применяют температуру минус 18 – минус 25 °С.

Криоскопической температурой $t_{кр}$ принято считать температуру начала выпадения твердой фазы (кристаллов) из тканевой жидкости продукта (таблица 8). Значения криоскопической температуры различны для каждого вида продуктов. Для технических расчетов криоскопическую температуру часто принимают равной минус 1 °С.

Таблица 8 – Криоскопические температуры некоторых пищевых продуктов

Продукт	$t_{кр}$, °С	Продукт	$t_{кр}$, °С
Морская рыба	– 1	Пресноводная рыба	– 0,5

Изменение теплофизических характеристик продуктов при замораживании.

В холодильной технологии воду, превратившуюся в лед, называют *вымороженной*. *Количество вымороженной воды* в продукте – это количество льда, отнесенное к начальному содержанию воды, являющееся функцией температуры. Приближенно оно может быть определено по формуле (16):

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{t_v}, \qquad (16)$$

где ω – количество вымороженной воды, кг/кг; $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °С; t_v – среднеобъемная (расчетная) температура продукта, °С.

Формула справедлива при замораживании до температур, при которых вся свободная вода превращается в лед (минус 30 – минус 36 °С), но и в этом интервале температур расчетная доля вымороженной воды будет несколько завышенной, так как не учитывается связанная вода, содержащаяся в тканях. Для более точного расчета количества вымороженной воды рекомендуется формула (17), предложенная Д. Г. Рютовым:

$$\omega = \left(1 - \frac{b(1-W)}{W}\right) * \left(1 - \frac{t_{кр}}{t_v}\right), \qquad (17)$$

где W – общее содержание воды в продукте, кг/кг продукта; b – содержание связанной воды, кг/кг сухих веществ.

Для расчетов количество связанной воды в продуктах животного происхождения берут b = 0,27 кг/кг, растительного – b = 0,12 кг/кг сухого вещества.

В области положительных температур теплофизические характеристики сырья меняются незначительно, и их принимают постоянными. Когда температура становится ниже криоскопической, теплофизические характеристики продукта существенно изменяются вследствие льдообразования и различия свойств воды и льда, а также тепловых эффектов, сопровождающих этот процесс.

Расчетную удельную теплоемкость мороженого продукта c_m определяют по формуле (18):

$$c_m = c_w W(1-\omega) + c_a W\omega + c_c(1-W)\ , \qquad (18)$$

где c_w – теплоемкость воды, c_w = 4,19 кДж/(кг·К); c_c – теплоемкость сухих веществ, c_c = 1,42 кДж/(кг·К) – для продуктов животного происхождения, c_c = 0,91 кДж/(кг·К) – для продуктов растительного происхождения; c_a – теплоемкость льда, c_a = 2,1 кДж/(кг·К); W – содержание воды в продукте, кг/кг; ω – количество вымороженной воды, кг/кг.

Открыв скобки в первом слагаемом уравнения, группируя подобные члены и принимая во внимание выражение для расчета c_0 (см. охлаждение), получим

$$c_m = c_0 - (c_w - c_a)W\omega, \qquad (19)$$

Приняв c_w = 4,19 кДж/(кг • К) и c_a = 2,1 кДж/(кг • К), получим

$$c_m = c_0 - 2{,}1W\omega. \qquad (20)$$

Теплопроводность характеризует способность тела нагреваться или охлаждаться. Поскольку теплопроводность льда примерно в 4 раза больше теплопроводности воды, то при замораживании λ увеличивается. Теплопроводность замороженных продуктов λ_m можно определить по формуле (21)

$$\lambda_m = \lambda_0 + \omega\Delta\lambda, \qquad (21)$$

где Δλ – изменение теплопроводности в интервале температур от $t_{кр}$ до температуры, соответствующей завершению льдообразования; для продуктов, содержащих 70-80% воды, Δλ = 0,93 – 1,16 Вт/(м • К).

Коэффициент температуропроводности a_m рассчитывается исходя из c_m и λ_m.

Для расчета среднеобъемной температуры продукта, когда температура его термического центра меньше минус 5 °С наряду с формулами (10) и (11) удобно пользоваться формулой (22)

$$t_v = t_z - \Psi \frac{Bi_m}{Bi_m + n}(t_z - t_c), \quad (22)$$

где n – коэффициент, зависящий от метода охлаждения: при воздушном охлаждении n=2, при охлаждении в жидкости n=3; Bi_m – критерий Био для замороженного продукта:

$$Bi_m = \frac{\alpha R}{\lambda_m}. \quad (23)$$

Способы определения количества холода, отводимого в процессе замораживания, и продолжительности замораживания

Теплота, отводимая от продукта при замораживании, складывается из теплоты охлаждения продукта от начальной температуры до криоскопической, теплоты льдообразования, теплоты, отводимой при понижении температуры от криоскопической до средней конечной температуры мороженого продукта и определяется по формуле (24)

$$Q_m = G\left[c_0\left(t_n - t_{\text{кр}}\right) + W\omega r_a + c_m(t_{\text{кр}} - t_v)\right], \quad (24)$$

где Q – теплота, отводимая при замораживании, кДж; G – масса продукта, кг; c_0 и c_m – удельная теплоемкость при температуре соответственно выше криоскопической и среднеобъемной конечной, кДж/(кг-К); t_n и $t_{кр}$ – начальная и криоскопическая температуры, °С; t_v – среднеобъемная конечная температура мороженой продукции, °С; W – содержание воды в продукте, кг/кг; ω – количество вымороженной воды при t_v кг/кг воды; r_a – удельная теплота льдообразования, r_a = 335,2 кДж/кг.

Известна и более простая формула (25) вычисления теплоты, отводимой от продукта при замораживании

$$Q_m = G(i_n - i_v), \quad (25)$$

где (i_n – i_v) – разность удельных энтальпий при среднеобъемных начальной и конечной температурах, кДж/кг (см. приложение Б, таблица П.Б.1).

Продолжительность процесса замораживания τ_m – время, необходимое для охлаждения тела от начальной до заданной температуры с учетом превращения в лед воды, содержащейся в тканях. Продолжительность замораживания зависит от многих факторов и обычно ее определяют экспериментальным путем, однако известно также несколько расчетных способов нахождения τ_m, из которых в холодильной технологии широко распространены формула Р. Планка и формула Д. Г. Рютова.

Формула Р. Планка для расчета продолжительности замораживания имеет следующий вид (26):

$$\tau_m = \frac{q\rho}{t_{\text{кр}} - t_c} F \frac{\delta}{2}\left(\frac{\delta}{4\lambda_m} + \frac{1}{\alpha}\right), \qquad (26)$$

где δ – толщина пластины, диаметр цилиндра или шара, м; F – коэффициент формы, Кф = V/SL (1, 1/2, 1/3), ρ – плотность, кг/м^3.

Уравнение Р. Планка дает лишь приближенное значение τ_m, хотя как фундаментальная формула она включена в рекомендации Международного института холода.

Из многочисленных попыток усовершенствовать формулу Р. Планка следует отметить получившую наиболее широкое распространение формулу Д. Г. Рютова (27):

$$\tau_m = \frac{\rho}{\lambda_m} F \left[\frac{q(1+0{,}0053t_n)}{8(t_{\text{кр}} - t_c)} + \frac{nc_m}{\pi^2}\left(\ln\frac{t_{\text{кр}} - t_c}{t_z - t_c} - 0{,}21\right)\right]\delta\left(\delta + \frac{4\lambda_m}{\alpha}\right), \qquad (27)$$

где δ – толщина пластины, диаметр цилиндра или шара, м; F – коэффициент формы; t_n – начальная температура тела рыбы, °С; t_z – конечная температура в центре продукта, °С; c_m – теплоемкость замороженного продукта, кДж/(кг • К); n – поправочный коэффициент, зависящий от скорости замораживания (1,03 – при быстром замораживании (рассол), 1,16 – при медленном (воздух)).

Размораживание – завершающая стадия низкотемпературной обработки продуктов. Это тепловой процесс, при котором определенное количество теплоты передается продукту для повышения его температуры от начальной (минус 18 – минус 25 °С) до минус 1 °С. В соответствии с современными представлениями размораживание рассматривается как процесс, обратный замораживанию. Он состоит в таянии кристаллов льда и восстановлении первоначальной гистологической структуры тканей.

Количество теплоты, необходимой от продукта до полного его размораживания, определяют по формуле (28)

$$Q_p = G\left[c_m\left(t_{\text{кр}} - t_n\right) + W\omega r_a + c_0(t_k - t_{\text{кр}})\right] = G(i_k - i_n), \qquad (28)$$

где Q_p – количество теплоты, подводимой к продукту при размораживании, Дж; G – масса продукта, кг; ($i_к$ – i_n) – разность удельных энтальпий при конечной $t_к$ и начальной t_n температурах, кДж/кг; c_m и c_0 – теплоемкость мороженого и размороженного продукта, кДж/(кг·К); $t_{кр}$ – криоскопическая температура, ºС; W – содержание влаги в продукте, доли единицы; ω – количество вымороженной влаги, доли единицы; r_a – теплота льдообразования, кДж/кг, r_a = 335,2 кДж/кг.

Способы определения продолжительности размораживания

Процесс размораживания протекает в соответствии с обратной кривой замораживания: температура продукта вначале возрастает до точки таяния льда, затем остается постоянной и в конце процесса повышается до требуемой.

При определении продолжительности размораживания предполагается, что отсутствуют тепловыделения в области продукта лежащей глубже границы раздела, а все тепло, выделяемое при движении границы раздела, отводится к внешней среде через замороженный слой, теплоемкость которого равна 0.

Э. Альмаши предложил вычислять продолжительность размораживания по двум стадиям: продолжительность первой стадии (от t_n до $t_{кр}$) рассчитывается на основании уравнения теплопроводности для условий простого нагревания по типу формулы А. Фикина для охлаждения, второй (от $t_{кр}$ до $t_к$) – по методу элементарных тепловых балансов.

Г. Д. Кончаков согласившись с расчетом продолжительности первой стадии процесса размораживания, предложил продолжительность второй стадии рассчитывать исходя из скорости продвижения границы раздела. Он получил формулу для расчета продолжительности второй стадии размораживания равнозначную формуле Р. Планка.

Г. Б. Чижовым было предложено продолжительность первой стадии размораживания принять равной 30 % от продолжительности второй стадии. Таким образом, в окончательном виде формула для расчета продолжительности размораживания имеет следующий вид (29):

$$\tau_p = \frac{q_p \rho F R}{t_c - t_{кр}} * \left(\frac{R}{2\lambda_0} + \frac{1}{\alpha}\right) * m, \qquad (29)$$

где q_p – количество теплоты, подведенной к единице продукта, кДж/кг; ρ – плотность продукта, кг/м^3; F – коэффициент формы, для пластины 1, для цилиндра 1/2, для шара 1/3; R – полутолщина (радиус) продукта, м; t_c – температура среды, ºС; $t_{кр}$ – криоскопическая температура продукта, ºС; λ_0 – коэффициент теплопроводности размороженного слоя продукта, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи от продукта к среде, Вт/(м^2·К); m – множитель, учитывающий продолжительность первой стадии, m = 1,3.

В этой формуле вместо разности температур (t_c – $t_{кр}$) можно брать разность ($t_к$ – t_n), где $t_к$ – конечная температура размораживаемого продукта, ºС; t_n – начальная температура размораживаемого продукта, ºС.

Продолжительность размораживания продуктов можно оценить и по другой, более современной и точно формуле (30):

$$\tau_p = \frac{q_m \rho R}{t_c - t_{кр}} * \frac{Bi}{2\alpha}\left(1 + \frac{2c_0}{\mu_1^2 q_m}\left(t_c - t_{кр}\right)\right), c, \qquad (30)$$

где q_m = W ω r_a, кДж/кг; μ_1 – корень характеристического уравнения для тела заданной формы, определяемый исходя из величины критерия Био (см. приложение Б, таблица П.Б.4) [6].

Примеры решения задач

Пример 1

Блок рыбного фарша толщиной 46 мм замораживается в камере, температура воздуха в которой минус 35 ºС, коэффициент теплоотдачи 50 Вт/(м^2·К). Начальная температура продукта 15 ºС, содержание влаги 77 %, λ_0 = 0,47 Вт/(м • К).

Определить теплофизические свойства мороженого продукта: c_m, λ_m и a_m.

Найти количество отведенной теплоты q_m и Q_m до получения среднеобъемной температуры t_v, температуру наружных поверхностей t_p и центра t_z при заданной среднеобъемной температуре, продолжительность замораживания по формуле Р. Планка и по формуле Д. Г. Рютова.

Массу продукта при расчетах принять 10 кг.

Решение:

Теплофизические свойства мороженого продукта:

– количество вымороженной влаги

$$\omega = \left(1 - \frac{0{,}27(1-0{,}77)}{0{,}77}\right) * \left(1 - \frac{(-1)}{(-18)}\right) = 0{,}87;$$

– теплоемкость c_m

$$c_m = 4{,}19 * 0{,}77(1 - 0{,}87) + 2{,}1 * 0{,}77 * 0{,}87 + 1{,}46(1 - 0{,}77) = 2{,}16 \text{ кДж/(кг} * \text{К)}$$

или

$$c_0 = 4{,}19 * 0{,}77 + 1{,}46 * (1 - 0{,}77) = 3{,}56 \text{ кДж/(кг} * \text{К)};$$

$$c_m = 3{,}56 - 2{,}1 * 0{,}77 * 0{,}87 = 2{,}16 \text{ кДж/(кг} * \text{К)};$$

– коэффициент теплопроводности λ_m

$$\lambda_m = 0{,}47 + 0{,}87 * 1{,}05 = 1{,}38 \text{ Вт/(м} * \text{К)};$$

– температуропроводности a_m

$$a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho} = \frac{1{,}38}{2{,}16 * 10^3 * 1020} = 6{,}28 * 10^{-7} \text{ м}^2\text{/с}.$$

Количество отведенной теплоты q и Q до получения среднеобъемной температуры минус 18 ºС

$$q_m = c_0(t_n - t_{\text{кр}}) + W\omega r_a + c_m(t_{\text{кр}} - t_v),$$

$$q_m = 3{,}56(15 - (-1)) + 0{,}77 * 0{,}87 * 335{,}2 + 2{,}16((-1) - (-18)) = 318{,}23 \text{ кДж/кг}$$

или приближенно

$q_m = (i_n - i_v) = 318{,}5 - 5{,}0 = 313{,}5$ кДж/кг,

G = 10 кг,

$Q_m = 10\ q_m = 3182{,}3$ кДж

или приближенно

$$Q_m = G(i_n - i_v) = 10 * 313{,}5 = 3135 \text{ кДж}.$$

Температуру наружных поверхностей t_p и центра t_z при заданной среднеобъемной температуре определяем по формуле (22). Для этого сначала определяем значение критерия Био по формуле (23)

$$Bi_m = \frac{50 * 0{,}023}{1{,}38} = 0{,}83$$

$$(-18) = t_z - \frac{1}{3} * \frac{0{,}83}{0{,}83 + 2}\big(t_z - (-35)\big) = t_z - 0{,}10(t_z + 35),$$

$$t_z = -16{,}11\ ^{\circ}\text{C}.$$

Исходя из формулы (10) определяем t_p

$$t_p = 3\left(t_v - \frac{2}{3}t_z\right) = 3\left((-18) - \frac{2}{3}(-16{,}11)\right) = -21{,}78\ ^{\circ}\text{C}$$

или приближенно по формуле (11)

$$t_p = 2t_v - t_z = 2 * (-18) - (-16{,}11) = -19{,}89\ ^{\circ}\text{C}.$$

Продолжительность замораживания по формуле Р. Планка (26)

$$\tau_m = \frac{318{,}23 * 10^3 * 1020}{-1 - (-35)} 1 \frac{0{,}046}{2}\left(\frac{0{,}046}{4 * 1{,}38} + \frac{1}{50}\right) = 6221{,}4\ \text{с} = 1{,}7\ \text{ч}$$

по формуле Д. Г. Рютова (27)

$$\tau_m = \frac{1020}{1{,}38} 1 \left[\frac{318{,}23 * 10^3(1 + 0{,}0053 * 15)}{8(-1 - (-35))} + \frac{1{,}113 * 2160}{3{,}14^2}\left(\ln\frac{-1 - (-35)}{-16{,}11 - (-35)} - 0{,}21\right)\right]$$

$$* 0{,}046 * \left(0{,}046 + \frac{4 * 1{,}38}{50}\right) = 7205{,}3\ \text{с} = 2{,}0\ \text{ч}.$$

Ответ: теплоемкость блока рыбного фарша мороженого 2,16 кДж/(кг·К), коэффициент теплопроводности 1,38 Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности $6{,}28 \cdot 10^{-7}$ м^2/с, количество вымороженной влаги 0,87, температура поверхности минус 21,78 (приближенно – минус 19,89) °С, температура центра минус 16,11 °С, продолжительность замораживания соответственно 1,7 и 2,0 ч, количество отведенной теплоты от 10 кг фарша 3182,3 или 3135 кДж.

Пример 2

Рассчитываем теплофизические характеристики, расход теплоты, продолжительность размораживания для тех же продуктов, что и продолжительность замораживания: блок рыбного фарша. Начальная температура продукта равна среднеобъемной температуре замороженного продукта, а температуру среды принимаем равной 20 ºС. Конечной считаем криоскопическую температуру.

Решение:

Теплофизические характеристики размороженного продукта:

– теплоемкость

$$c_0 = 4{,}19 * 0{,}77 + 1{,}46 * (1 - 0{,}77) = 3{,}56\ \text{кДж/(кг} * \text{К)};$$

– температуропроводность

$$a_0 = \frac{\lambda_0}{c_0\rho} = \frac{0{,}47}{3{,}56 * 10^3 * 1020} = 1{,}3 * 10^{-7}\ \text{м}^2/\text{с}.$$

Расход теплоты на размораживание продукта до $t_{кр}$

$$Q_p = G\left[c_m\left(t_{кр} - t_n\right) + W\omega r_a\right]$$
$$= 10 * \left[2{,}16 * \left(-1 - (-18)\right) + 0{,}77 * 0{,}87 * 335{,}2\right] = 2612{,}7 \text{ кДж}$$

или приближенно

$$Q_p = G(i_k - i_n) = 10 * (266 - 5) = 2610 \text{ кДж..}$$

Продолжительность процесса размораживания по формуле (38)

$$\tau_p = \frac{261{,}27 * 10^3 * 1020 * 1 * 0{,}023}{20 - (-1)}\left(\frac{0{,}023}{2 * 0{,}47} + \frac{1}{50}\right)1{,}3 = 13966{,}8 \text{ с} = 3{,}9 \text{ ч.}$$

Продолжительность процесса размораживания по формуле (39):

$q_m = W\ \omega\ r_a = 0{,}77 \bullet 0{,}87 \bullet 335{,}2 = 224{,}55$ кДж/кг.

$Bi = 50 \bullet 0{,}023 / 0{,}47 = 2{,}5$.

Следовательно, $\mu_1 = 1{,}1352$

$$\tau_p = \frac{224550 * 1020 * 0{,}023}{20 - (-1)}\frac{2{,}5}{2 * 50}\left(1 + \frac{2 * 3560}{1{,}1352^2 * 224550}(20 - (-1))\right)$$
$$= 9512{,}1 \text{ с} = 2{,}6 \text{ ч.}$$

Ответ: теплоемкость блока рыбного фарша размороженного 3,56 кДж/(кг·К), коэффициент температуропроводности $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ м^2/с, продолжительность размораживания соответственно 3,9 и 2,6 ч, количество отведенной теплоты от 10 кг фарша 2612,7 или приближенно 2610 кДж.

Задание и этапы проведения практического занятия

1. Ознакомьтесь с способами расчета продолжительности замораживания и дефростации рыбы. Ответьте на вопросы для самоконтроля.
2. Изучите примеры решения задач.
3. В соответствии с заданием преподавателя решите задачи 3.1–3.2.
4. Оформите отчет по работе.

Задача 3.1

Номер варианта	Условия задачи
1	Определить количество теплоты, которое необходимо отвести от 5000 кг морского окуня, пикши и сельди при замораживании рыбы указанных видов от 20 до минус 30 °С
2	Замораживаются морской окунь, пикша, сельдь и треска, при этом во всех четырех случаях отводится одно и то же количество теплоты. На сколько будут отличаться массы охлажденной рыбы, если температурные границы процесса составляют от 20 до минус 20 °С?
3	Определить средний часовой расход холода на замораживание 2000 кг рыбы от 20 до минус 20 °С при продолжительности процесса 5 ч. Охлаждению подвергаются хек серебристый, сельдь и пикша

Задача 3.2

Продукт толщиной δ замораживается в камере, температура в которой t_c, коэффициент теплоотдачи α Вт/(м^2·К). Начальная температура продукта t_n.

Продукт и данные к нему выбрать по варианту приложения Б (таблица П.Б.2).

Определить количество вымороженной воды и теплофизические свойства мороженого продукта: теплоемкость c_m, коэффициент теплопроводности λ_m и температуропроводности a_m.

Найти количество отведенной теплоты q_m и Q_m до получения среднеобъемной температуры t_v, температуру наружных поверхностей t_p и центра t_z при заданной среднеобъемной температуре, продолжительность замораживания по формуле Р. Планка и по формуле Д. Г. Рютова.

При расчете продолжительности замораживания тел плоской формы продукт приближенно считать неограниченной пластиной, а охлаждение – двусторонним симметричным. Продукты друг с другом не соприкасаются.

Массу продукта при расчетах принять 10 кг.

Ход решения см. в примере.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение процесса замораживания.
2. Какую температуру называют криоскопической?
3. От каких факторов зависит количество вымороженной воды?
4. Какие формулы используются для расчета количества вымороженной воды?
5. Почему изменяются теплофизические показатели мороженых продуктов в сравнении с охлажденными?
6. Чем отличается расчет критерия Био для мороженых продуктов?
7. Как рассчитывается теплота, отводимая от продукта при замораживании?
8. Какие процессы характеризуют слагаемые в формуле для расчета теплоты, отводимая от продукта при замораживании?
9. От каких факторов зависит продолжительность процесса замораживания?
10. Чем отличается формула Д.Г. Рютова от формулы Р. Планка?
11. Дайте определение процессу размораживания.
12. Какие способы размораживания Вам известны?
13. Как происходит размораживание продуктов в воде и на воздухе?
14. Какие изменения происходят в продукте при размораживании?
15. Как рассчитать количество теплоты, необходимое для размораживания продукта?
16. Какие формулы используют для расчета продолжительности размораживания?
17. Теплофизические характеристики замороженного или размороженного слоя используются при расчетах продолжительности размораживания?
18. Что обозначает коэффициент m в формуле Г. Б. Чижова?

Практическое занятие № 4
РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА СОЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛЕНОЙ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Цель работы – получение практических умений и навыков расчета процесса требуемого количества соли при производстве соленой рыбной продукции.

Теоретическая часть

Расчет требуемого количества соли.

В производстве количество соли, необходимое для посола, обычно выражают не в процентах к массе влаги, содержащейся в мясе рыбы, а в процентах к ее массе. Учитывают количество влаги, находящейся на поверхности рыбы, а также влажность соли. В связи с этим дозировку соли соответственно увеличивают.

Количество соли S (% к массе рыбы), необходимой для посола, определяют по следующим формулам:

$$S_0 = \frac{\mathrm{Wp} * C_\mathrm{p} * 100}{(100 - C_\mathrm{p})(100 - \Pi_{\text{п.с}})}, \quad (31)$$

где $W_р$ – содержание воды в рыбе до просаливания, %; $C_р$ – задаваемая равновесная концентрация соли в тканях и рассоле в конце просаливания, %; $П_{пс}$ – доля примесей (включая воду) в поваренной соли, %;

– при смешанном посоле

$$S_0 = \frac{100 * \mathrm{Wp} * C_\mathrm{p} + G_\mathrm{p}(100 - C_\mathrm{c})}{(100 - C_\mathrm{p})(100 - \Pi_{\text{п.с}})}, \quad (32)$$

где $G_р$ – количество добавляемого тузлука, % к массе рыбы; $C_с$ –концентрация соли в тузлуке, %;

– при мокром посоле

$$S_0 = \frac{\mathrm{Wp} * C_\mathrm{p} * \mathrm{C}}{(C_\mathrm{c} - C_\mathrm{p})(100 - \Pi_{\text{п.с}})}, \quad (33)$$

Необходимое количество соляного раствора для посола рассчитывают по формуле

$$G_\mathrm{p} = \frac{\mathrm{Wp} * C_\mathrm{p}}{C_\mathrm{c} - C_\mathrm{p}}, \quad (34)$$

При охлажденном посоле (с добавлением льда) общий расход соли возрастает на величину, необходимую для насыщения воды, образующейся при таянии льда, до концентрации $C_р$

$$S_1 = \frac{W_л * C_р}{(100 - C_р)(100 - П_{п.р})}, \quad (35)$$

где $W_л$ – количество льда, добавляемого при посоле, % к массе рыбы до посола.

Когда конечная концентрация соли меньше 15%, в формулы для определения расхода соли вместо общего содержания воды подставляют количество свободной растворяющей воды $W_{С.В}$, равное

$$W_{с.в} = K * \mathrm{Wp},$$

где К – коэффициент, показывающий долю свободной воды при концентрации соли меньше 15 % (≈ 0,85).

При производстве соленой рыбы используются два показателя, характеризующие содержание соли в рыбе. Первый показатель – соленость (массовая доля соли в рыбе), под которым понимают отношение количества соли к массе рыбы, ее определяют по формуле

$$\mathrm{Mc} = 100 * m_{сол}/\mathrm{M}_{об}, \quad (36)$$

где $M_с$ – соленость рыбы (массовая доля соли в рыбе), %; $m_{сол}$ – масса соли, взятая для посола, кг; $M_{об}$ – масса рыбы, кг.

Второй показатель – концентрация соли в мышечной ткани, которую находят как отношение количества соли к количеству раствора соли в мышечных тканях по формуле

$$C_с = m_{сол} * 100/(\mathrm{Wc} + m_{сол}), \quad (37)$$

где $C_с$ – концентрация раствора поваренной соли в мышечной ткани, %; Wc – содержание влаги в соленой рыбе, %.

$$W_с = (W_р - \mathrm{Mc})$$

Масса соленой рыбы, выраженная в процентах к свежей рыбе, называется выходом готовой продукции, а разницу массы между свежей и соленой рыбы, выраженной в процентах к свежей рыбе, называют утечкой при посоле и определяют по формуле

$$P = (\mathrm{M}_{об} - \mathrm{M}_{сол}) * 100/\mathrm{M}_{об}, \quad (38)$$

или

$$p = (\mathrm{M}_{об} - \mathrm{M}_{сол}), \quad (39)$$

где Р – утечка рыбы, %; р – утечка рыбы, кг; $M_{об}$ – масса свежей рыбы, кг; $M_{сол}$– масса соленой рыбы, кг.

Количество соли, проникающей в ткани рыбы, определяют по формуле

$$g = m_{сол}((g_1 - g_2) + m_{с.т}), \quad (40)$$

где $m_{сол}$ – масса соли, взятой для посола рыбы, кг; g_1 – масса жировой соли, кг; g_2 – масса примесей в жировой соли, кг.

Массу соли в тузлуке находят по формуле

$$m_{с.т} = a * G_р, \quad (41)$$

где $m_{с.т}$ – масса соли в тузлуке, кг; а – коэффициент концентрации тузлука; $G_р$ - масса тузлука, кг.

Количество влаги, извлеченной из рыбы, определяют по формуле

$$W = (М_{об} - М_{сол}) + k_с * М_{сол}, \quad (42)$$

где W – количество влаги, извлеченной из рыбы, кг; $k_с$ – коэффициент, учитывающий содержание соли в рыбе после посола.

Усилие всплывания рыб при посоле, т. е. разницу между массой тела и подъемной силой, определяют по формуле

$$f = М_{об} - (М_{сол} * \rho_т)/\rho_р, \quad (43)$$

где f – сила, выталкивающая рыбу, кг; $М_{об}$ – масса свежей рыбы, кг; $М_{сол}$ – масса соленой рыбы, кг; $\rho_т$ – плотность тузлука, кг/м ; $\rho_р$ – плотность рыбы, кг/м^3 [4].

Примеры решения задач

Пример 1

Определить количество соли, необходимое при сухом посоле 1,5 т рыбы, если равновесная концентрация соли в тканях рыбы и в рассоле в конце просаливания равна 8 %, доля примесей в соли составляет 2,5 %, а содержание воды в рыбе до просаливания 65 %.

Решение

В соответствии с формулой (3) определяем количество соли S_0 в процентах к массе рыбы

$$S_0 = \frac{65 * 8 * 100}{(100 - 8)(100 - 2{,}5)} = 5{,}80\ \%.$$

Ответ: потребуется соль в количестве 5,80 % к массе рыбы.

Задание и этапы проведения практического занятия

1. Ознакомьтесь с способами расчета процесса требуемого количества соли при производстве соленой рыбной продукции. Ответьте на вопросы для самоконтроля.
2. Изучите примеры решения задач.
3. В соответствии с заданием преподавателя решите задачи 4.1–4.2. Оформите отчет по работе.

Задача 4.1

Номер варианта	Условия задачи
1	Определить количество поваренной соли (% к массе рыбы), которое необходимо взять при сухом способе посола рыбы с тем, чтобы концентрация соли в конце просаливания в тканях рыбы была равна 12 %. Количество примесей в соли составляет 3,1 %, а содержание воды в рыбе до просаливания 65 %. Определить количество соли (по массе), необходимое для посола 1 т рыбы
2	Определить количество поваренной соли (% к массе рыбы), которое необходимо взять при смешанном способе посола рыбы с тем, чтобы концентрация соли в конце просаливания в тканях рыбы была равна 15 %. Количество соляного раствора, добавляемого для просаливания, равно 30 % от массы рыбы, его концентрация равна 28 %, содержание воды в рыбе 78 %, а количество примесей в сухой соли 2,5 %. Определить количество соли (по массе), необходимое для посола 1,5 т рыбы
3	Определить количество поваренной соли (% к массе рыбы) и количество соляного раствора, которые необходимо взять при мокром способе посола рыбы с тем, чтобы концентрация соли в конце просаливания в тканях рыбы равнялась 10 %. Концентрация соляного раствора, используемого для посола, равна 25 %, содержание воды в рыбе 67 %, а количество примесей в сухой соли 2,5 %. Определить количество соли (по массе), необходимое для посола 2,5 т рыбы
4	Определить дополнительное количество поваренной соли (% к массе рыбы), которое необходимо взять при охлажденном способе посола рыбы с тем, чтобы равновесная концентрация соли в конце просаливания в тканях рыбы равнялась 14 %. Содержание воды в рыбе равно 68 %, а количество примесей в сухой соли 2,6 %. Количество льда при посоле рыбы равно 12 %
5	Определить соленость рыбы и концентрацию раствора соли в мышечной ткани рыбы, если количество соли, взятое для посола, равно 85 кг, масса рыбы составляет 500 кг, содержание влаги в рыбе 330 кг
6	Определить количество образовавшегося тузлука при посоле 4 т рыбы, если утечка составила 22 %, расход соли составил 24 % от массы рыбы-сырца, масса жировой соли 55 кг.

7	При сухом способе посола 5 т рыбы расход соли оказался равным 8% от массы исходной рыбы, утечка равна 12 %. Содержание соли в конце посола 5 %. Определить концентрацию и количество образовавшегося тузлука.

Задача 4.2

Номер варианта	Условия задачи
1	При тузлучном способе посола 3000 кг рыбы плотностью 1045 кг/м применили насыщенный тузлук. Какое количество тузлука необходимо для полного погружения рыбы в начале посола?
2	Определить количество соли, необходимое при смешанном способе посола 3 т рыбы, если содержание воды в рыбе до просаливания 68 %, равновесная концентрация соли после просаливания 10 %, количество примесей в соли 1,5 %, а концентрация соли в тузлуке 22 %. Количество добавленного тузлука равно 15 %
3	Определить количество соли, необходимое при мокром способе посола 7,5 т рыбы, если содержание воды в рыбе до просаливания 65 %, равновесная концентрация соли после просаливания 12 %, концентрация соли в тузлуке 26 %, доля примесей в поваренной соли 1 %
4	Определить количество соли, необходимое при мокром охлажденном способе посола (с добавлением льда), если равновесная концентрация соли 15 %, количество льда, добавляемое при посоле, 30 %, содержание воды в рыбе до просаливания 78 %, доля примесей в соли 0,5 %, концентрация соли в тузлуке 25 %
5	Определить количество соли, необходимое при смешанном охлажденном способе посола (с добавлением льда) 8 т рыбы, если исходное содержание воды в рыбе до просаливания 82 %, равновесная концентрация соли 12 %, концентрация соли в тузлуке 23 %, доля примесей в соли 0,8 %
6	Определить количество соли, необходимое для сухого посола 4,5 т рыбы с содержанием воды 70 % при равновесной концентрации соли 10 % и доле примесей в поваренной соли 1,2 %

Вопросы для самоконтроля

1. Как рассчитать количество соли, необходимой для посола?
2. Показатели, характеризующие содержание соли в рыбе, формулы расчета, взаимосвязь.
3. Дайте определение понятию «выход готовой продукции». Формулы расчета.

Практическое занятие № 5
ТЕХНОЛОГИЯ СУШЕНОЙ, ВЯЛЕНОЙ И КОПЧЕНОЙ РЫБЫ. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Цель работы – получение практических умений и навыков расчета показателей процесса сушки и вяления рыбы.

Теоретическая часть

Сушка относится к способам консервирования, полностью предотвращающим микробиальную порчу продуктов, хотя высушенные продукты не являются стерильными. Высушенные рыбные продукты, хорошо изолированные от внешней среды, могут сохраняться очень долго. Уменьшение массы при высушивании сырья облегчает хранение и транспортирование готового продукта.

Выход сушеного продукта и количество испарившейся влаги можно определить по химическому составу рыбы

$$\text{В} = \frac{100-w_{\text{н}}}{100-w_{\text{к}}} * 100, \quad (44)$$

$$W_i = \frac{w_{\text{н}}-w_{\text{к}}}{100-w_{\text{к}}} * 100, \quad (45)$$

где В – выход сушеной рыбы, % от начальной массы; $w_н$ – влажность в рыбе до сушки, %; $w_к$ – влажность в рыбе после сушки, %; W_i – количество испарившейся влаги, % от начальной массы.

Массу испарившейся влаги рассчитывают по формуле

$$\Delta W = \frac{\text{М}_{\text{н}}(U_{\text{н}}-U_{\text{к}})}{100-U_{\text{к}}} = \frac{\text{М}_{\text{к}}(U_{\text{н}}-U_{\text{к}})}{100-U_{\text{н}}}, \quad (46)$$

где $U_н$ и $U_к$ – влажность рыбы соответственно до и после сушки, % от массы исходного вещества рыбы; $М_н$ и $М_к$ – масса влажного продукта, поступающего на сушку, и масса продукта после сушки, кг.

Содержание влаги в продукте, кг

$$W = \frac{\text{М}_{\text{с.в}} * U_{\text{н}}}{100-U_{\text{н}}}, \quad (47)$$

где $U_н$ – начальная влажность, %; $М_{с.в}$ – масса сухого вещества, кг.

Выход готовой продукции рассчитывают по формуле

$$\text{В} = \frac{100+w_{\text{к}}}{100+w_{\text{н}}} G_{\text{н}}, \quad (48)$$

где $w_н$ и $w_к$ соответственно начальное и конечное влагосодержание рыбы, %.

Влажность и влагосодержание рыбы рассчитывают по формулам

$$U = \frac{W}{\text{М}_\text{н}} = \frac{W}{\text{М}_\text{к} + \Delta W} 100, \quad (49)$$

$$w = \frac{W}{\text{М}_\text{с.в}} 100, \quad (50)$$

где U – влажность рыбы, %; w – влагосодержание рыбы, %; $\text{М}_\text{с.в}$ – масса сухого вещества рыбы, кг; ΔW – масса испарившейся влаги, кг; $\text{М}_\text{н}$ – масса влажного продукта, поступающего на сушку, вяление или копчение, кг; W – содержание влаги в продукте, кг.

Влажность рыбы всегда меньше 100 %. Влагосодержание, рассчитанное по отношению к сухому веществу рыбы, может быть больше и меньше 100 %.

При копчении рыбы имеют место некоторые потери сухого вещества в результате вытекания из рыбы тканевого сока. С учетом потерь сухого вещества масса влажного продукта, поступающего на сушку, и масса продукта после сушки определяются по формулам

$$\text{М}_\text{к} = \frac{K\text{М}_\text{н}(100 - U_\text{н})}{100 - U_\text{к}}, \quad (51)$$

$$\text{М}_\text{н} = \frac{\text{М}_\text{к}(100 - U_\text{к})}{K(100 - U_\text{н})}, \quad (52)$$

где $\text{М}_\text{н}$ и $\text{М}_\text{к}$ – масса продукта, поступающего на копчение, и копченого продукта соответственно, кг; $\text{U}_\text{н}$ и $\text{U}_\text{к}$ – влажность рыбы до и после копчения соответственно, % от общей массы исходной и копченой рыбы; K – коэффициент, учитывающий потери рыбой сухого вещества с тканевым соком (при горячем копчении K = 0,98).

При сушке и вялении рыбы потери сухого вещества отсутствуют, поэтому в этом случае вышеприведенными формулами можно пользоваться с коэффициентом K = 1.

Количество испарившейся влаги можно определить по расходу воздуха и разности его начального и конечного влагосодержания

$$\Delta W = \text{М}_\text{к}(w_\text{н} - w_\text{к}) = L_\text{в}(d_2 - d_1), \quad (53)$$

$$L_\text{в} = \frac{\Delta W}{d_2 - d_1}, \quad (54)$$

$$l = \frac{L_\text{в}}{\Delta W}, \quad (55)$$

где $\text{L}_\text{в}$ – масса сухого воздуха, проходящего через сушильный агрегат, кг; d_1 – влагосодержание воздуха при входе в сушильный аппарат, кг/кг сухого воздуха; d_2 – влагосодержание воздуха на выходе из сушильного аппарата, кг/кг

сухого воздуха; l – масса сухого воздуха, израсходованного на испарение 1 кг влаги из продукта, кг/кг [4].

Пример решения задачи

Пример 1

Определить массу сухого воздуха, необходимого для сушки рыбы, если при этом испаряется 20 кг влаги, а влагосодержание воздуха на входе и выходе из сушильного аппарата изменяется от 0,01 до 1 кг/кг. Определить массу сухого воздуха, необходимого для испарения 1 кг влаги из продукта.

Решение:

В соответствии с формулами (54), (55) получаем

$$L_{\text{в}} = \frac{\Delta W}{d_2 - d_1} = \frac{20}{0{,}1 - 0{,}001} 202 \text{ кг},$$

$$l = \frac{L_{\text{в}}}{\Delta W} = \frac{202}{20} = 10{,}1 \text{ кг/кг}.$$

Ответ: необходимо 202 кг сухого воздуха и 10,1 кг сухого воздуха для испарения 1 кг влаги из продукта.

Задание и этапы проведения практического занятия

1. Ознакомьтесь с способами расчета процесса требуемого количества соли при производстве соленой рыбной продукции. Ответьте на вопросы для самоконтроля.
2. Изучите примеры решения задач.
3. В соответствии с заданием преподавателя решите задачи 5.1–5.2.
4. Оформите отчет по работе.

Задача 5.1

Номер варианта	Условия задачи
1	Определить массу испарившейся влаги и выход готовой продукции, если масса рыбы горячего копчения 3500 кг. Содержание влаги в рыбе до и после копчения соответственно 200 и 30 % от массы сухого вещества
2	Масса влаги, которая была удалена из рыбы при вялении, равна 250 кг. Масса рыбы-сырца составляет 900 кг. Определить массу готовой продукции
3	Сухое вещество в исходной рыбе равно 37 %, влажность продукта после сушки 53 %. Определить выход готовой продукции после сушки, если на сушку было направлено 5000 кг рыбы
4	На сушку поступило 1000 кг рыбы с содержанием влаги 67 %. После сушки масса продукции уменьшилась вдвое. Определить в готовой продукции содержание влаги от массы готовой продукции и от массы сухих веществ
5	На горячее копчение поступило 3000 кг рыбы с содержанием влаги до обработки 65 % и после обработки 45 % от общей массы продукта. Определить массу готового продукта и массу испарившейся влаги

Задача 5.2

Номер варианта	Условия задачи
1	На производство провесной рыбы поступило 5000 кг сырья с содержанием влаги 200 % от массы сухого вещества. Определить массу готовой продукции, если содержание влаги в ней составило 80 % от массы сухого вещества
2	На сушку поступило 3000 кг филе рыбы. Начальная влажность продукта составляет 75 %, а конечная 6 % от общей массы. Определить выход готовой продукции
3	На горячее копчение поступило 3500 кг рыбы с содержанием влаги 80 %. У готового продукта влажность составила 60 %. Определить его массу
4	На сушку поступило 5000 кг рыбы с содержанием влаги 65 % и содержанием соли 8 %. Определить массу готовой продукции и массовую долю соли в ней, если содержание влаги снизилось до 40 %
5	На сушку поступило 10 000 кг рыбы-сырца с содержанием влаги 70 %. Определить содержание влаги от массы сухих веществ в рыбе

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятиям сушеная и вяленая рыбная продукция.
2. Формулы расчета выхода сушеного продукта и количество испарившейся влаги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдалинова, Л. С. Биохимия сырья водного происхождения: учеб. пособие / Л. С. Байдалинова, А. А. Яржомбек. – Москва: Моркнига, 2011. – 504 с.

2. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / под ред. О. Я. Мезеновой. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2013. – 412 с.

3. Бредихина, О. В. Научные основы производства рыбопродуктов: учеб. пособие: в 2 ч. / О. В. Бредихина, С. А. Бредихин, М. В. Новикова. – Москва: КолосС, 2009. – 152 с.

4. Куцакова, В. Е. Примеры и задачи в холодильной технологии пищевых ипродуктов: учеб. пособие / В. Е. Куцакова, Н. А. Уварова, С. В. Мурашев, А. Л. Ишевский. – Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2002. – Ч. 2. Общая технология отрасли. – 289 с.

5. Мезенова, О. Я. Современные биотехнологии продуктов животного происхождения: учеб. пособие для студентов направления 260100.68 – Технология продуктов питания, обучающихся по магистер. прогр. 260116.68 – Биотехнология продуктов живот. происхождения: в 2 ч. / О. Я. Мезенова. – Калининград: КГТУ, 2010. – Ч. 1. – 344 с.

6. Общие принципы переработки сырья и введение в технологии продуктов питания: метод. указ. к практ. занан. по дисц. "Общие принципы переработкисырья и введение в технологии продуктов питания" для студ. вузов напр. 260100.62 – Технология продуктов питания / О. Н. Анохина, М. Н. Альшевская. – Калининград: КГТУ, 2009. – 74 с.

7. Сенсорный анализ продуктов из гидробионтов: учеб. пособие / Г. Н. Ким [и др.]. – Москва: Колос, 2008. – 549 с.

8. Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник для вузов / В. В. Баранов, И. Э. Бражная, В. А. Гроховский [и др.]; под ред. А. М. Ершова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. – 944 с.

9. Технология продуктов из гидробионтов / С. А. Артюхова, В. Д. Богданов, В. М. Дацун [и др.]; под ред. Т. М. Сафроновой и В. И. Шендерюка. – Москва: Колос, 2001. – 496 с.

10. Технология рыбы и рыбных продуктов: учеб. / А. М. Ершов [и др.]. – Москва: КОЛОС, 2010. – 1063 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица П.А.1 – Исходные данные к заданию 1

Номер варианта	Продукт			Продолжительность охлаждения, τ_0, мин	Начальная температура продукта, t_n, °С	Температура среды, t_c, °С	Вид охлаждающей среды
	вид	физическая модель	Характерный размер 2R, м				
1	Рыба	Цилиндр	0,05	30	15	2	Воздух

Таблица П.А.2 – Теплофизические характеристики пищевых продуктов (дополнительные данные к заданию 1)

Наименование, продукта	Влагосодержание W, %	Криоскопическая температура $t_{кр}$, °С	Плотность ρ, кг/м³	Теплоёмкость c_o, кДж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности λ_0, Вт/(м·К)
Рыба	62–82	– 2,2	950–1070	2,76–3,60	0,35–0,56

Таблица П.А.3 – Данные для расчета продолжительности охлаждения пластины

№ п/п	Продукт	Массовая доля влаги W, %	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ_0, Вт/(м·К)	Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м^2·К)	Средняя толщина δ, мм	Начальная температура продукта t_n, °С	Температура воздуха в камере охлаждения t_c, °С	Температура продукта в конце процесса охлаждения, °С	
									на поверхности t_p (x/R=1)	в центре t_z (x/R=0)
1	Лещ	75,4	1005	0,44	116	50	25	0		5
2		77,8	1010	0,46	250	60	22	Минус 1	1	
3	Камбала	79,7	1040	0,47	250	20	18	Минус 2		2
4		80,4	1050	0,47	116	22	23	0	1	
5	Палтус	70,6	1030	0,41	116	40	20	0		2
6		70,2	1027	0,40	250	45	18	Минус 1	1	

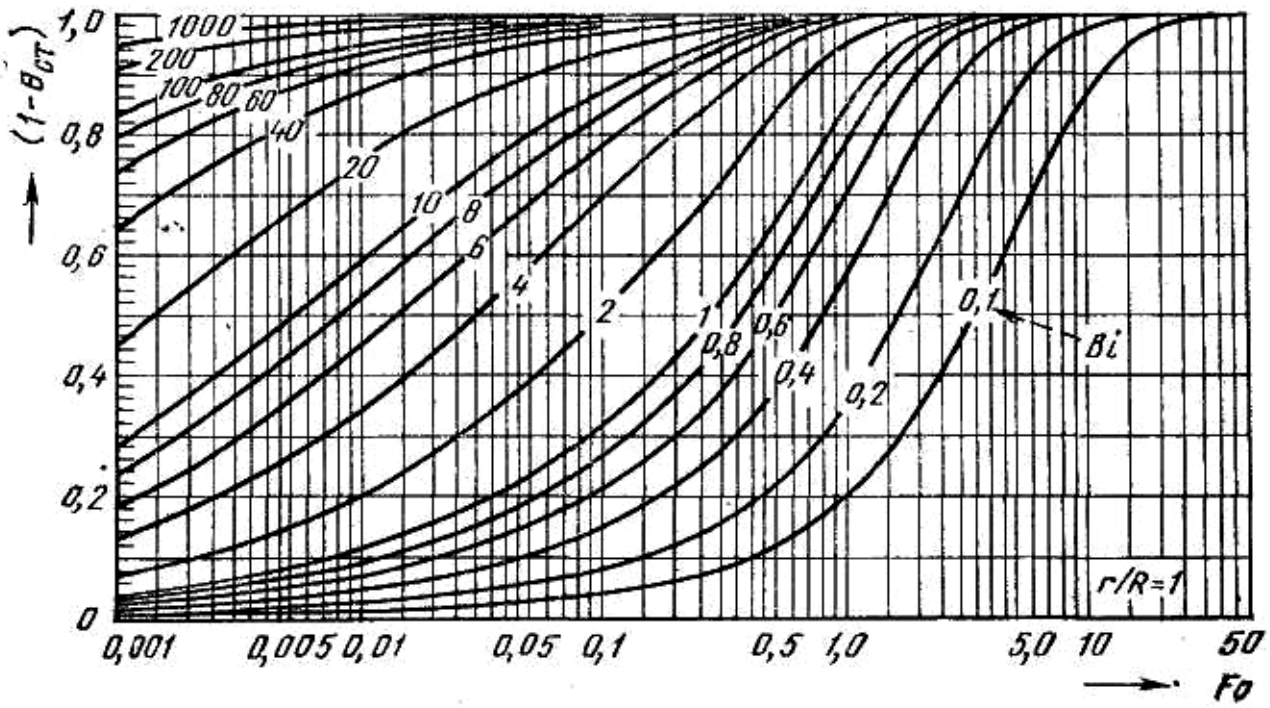

Рисунок П.А.1 – Номограмма для поверхности пластины

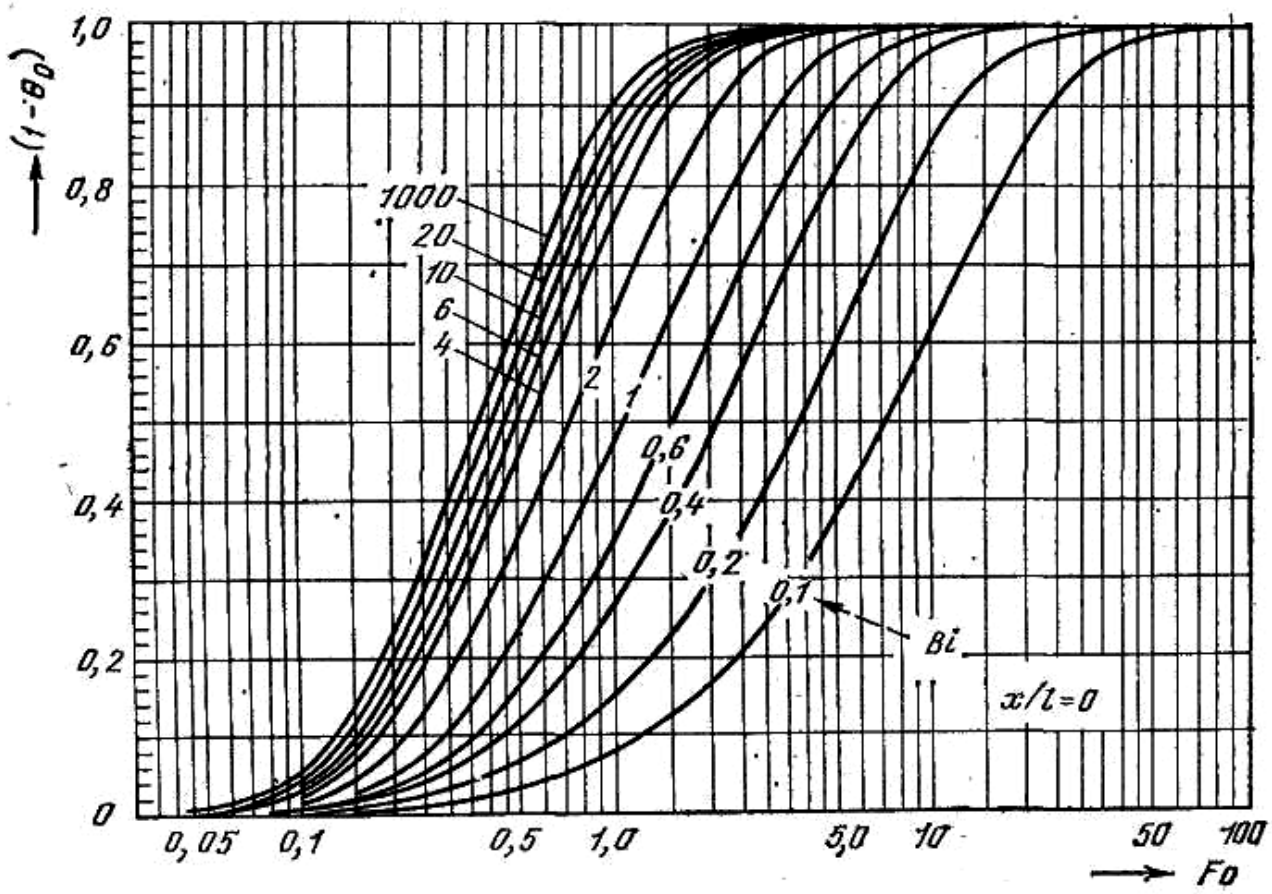

Рисунок П.А.2 – Номограмма для средней плоскости пластины

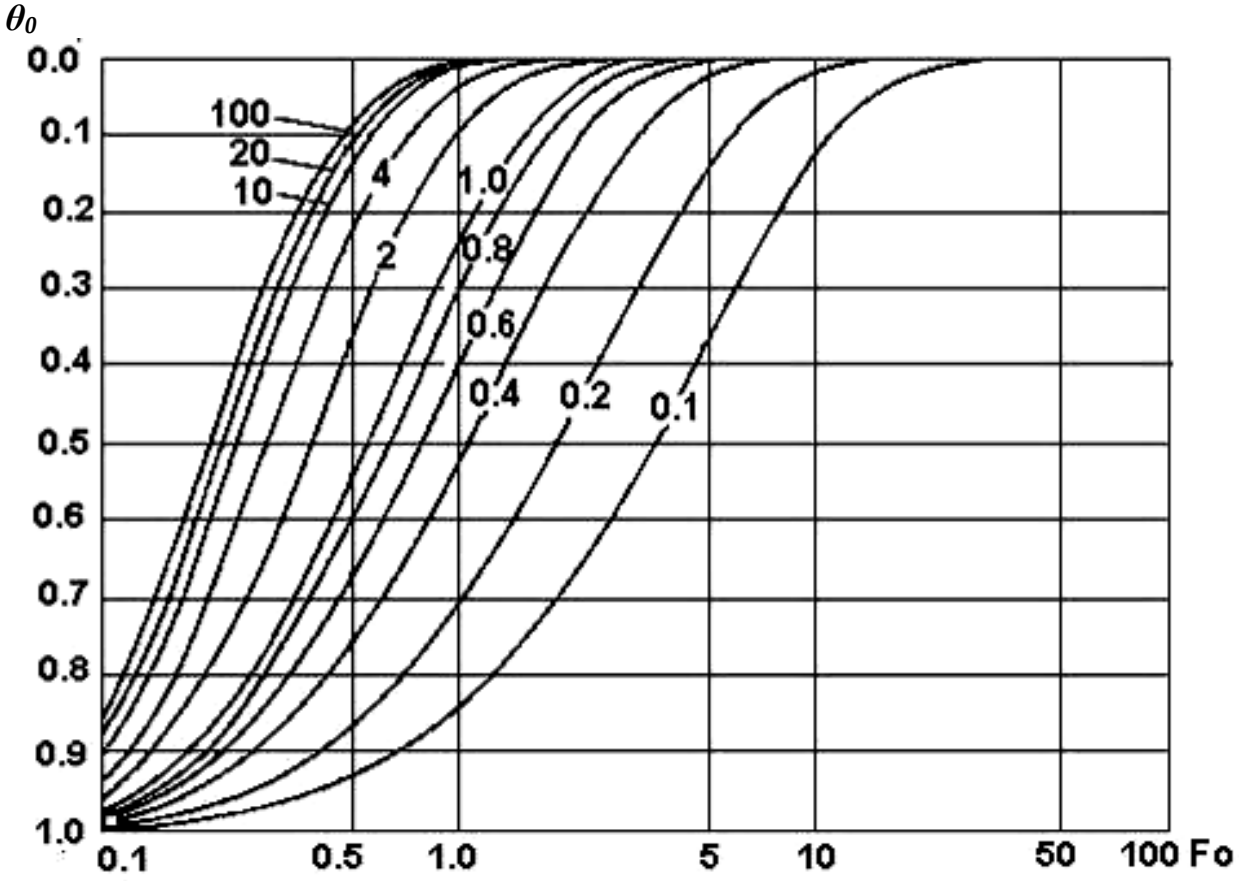

Рисунок П.А.3 – Номограмма для центра цилиндра

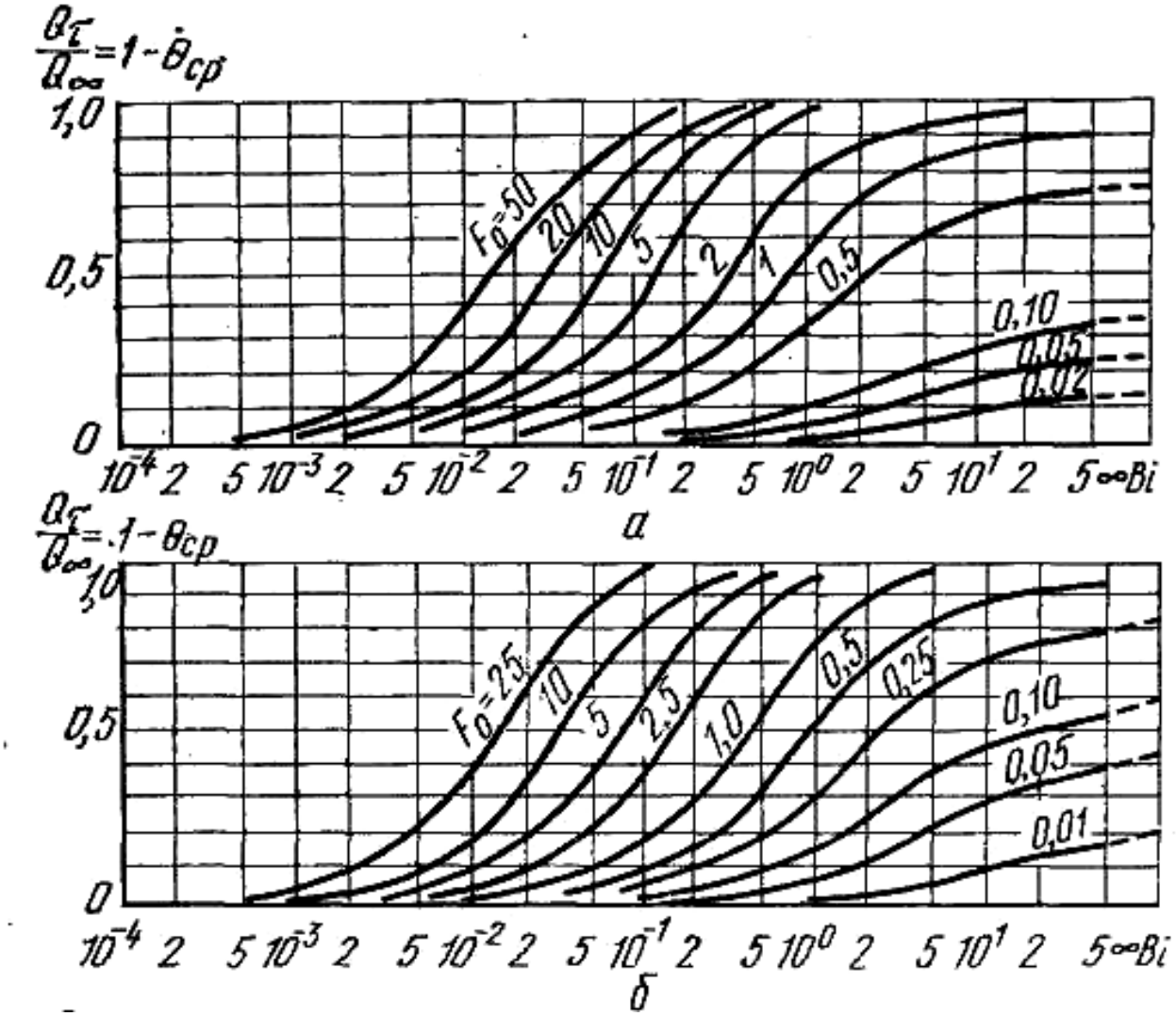

Рисунок П.А.4 – Номограммы для безразмерной среднеобъемная температура для пластины (а), цилиндра (б)

Приложение Б

Таблица П.Б.1 – Теплосодержание продуктов (энтальпия), кДж/кг

Температура продукта, °С	Рыба
Минус 20	0
Минус 18	5
Минус 10	33,6
Минус 2	117
0	266
2	278
4	280
10	301
20	336
30	371

Таблица П.Б.2 – Данные для расчета продолжительности замораживания (размораживания) пластины

№ п/п	Продукт	Массовая доля влаги W, %	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ_0, Вт/(м·К)	Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м^2·К)	Средняя толщина δ, мм	Начальная температура продукта t_n, °С	Температура в камере t_c, °С	Температура продукта в конце процесса замораживания t_v, °С	Охлаждающая среда
1	Блок салаки	78,2	1015	0,47	50	60	20	Минус 30	Минус 18	Воздух
2		79,0	1018	0,49	250	60	15	Минус 40	Минус 20	Рассол
3		78,7	1016	0,48	150	60	10	Минус 35	Минус 18	Воздух
4	Лещ	76,2	1005	0,45	50	40	18	Минус 30	Минус 18	Воздух
5		75,4	1005	0,44	150	50	20	Минус 35	Минус 20	Воздух
6		77,8	1010	0,46	250	60	22	Минус 40	Минус 15	Рассол
7	Камбала	79,7	1040	0,47	250	20	18	Минус 40	Минус 25	Рассол
8		80,4	1050	0,47	350	22	23	Минус 35	Минус 20	Рассол
9		77,6	1030	0,46	50	25	15	Минус 30	Минус 18	Воздух
10	Палтус	70,6	1030	0,41	100	40	20	Минус 40	Минус 25	Воздух
11		70,2	1027	0,40	250	45	18	Минус 50	Минус 30	Рассол
12		70,0	1025	0,40	450	60	15	Минус 30	Минус 20	Рассол

Таблица П.Б.3 – Корни характеристического уравнения

ctg μ = μ / Bi (пластина)	
Bi	μ_1
0,001	0,0316
0,002	0,0447
0,004	0,0632
0,006	0,0774
0,008	0,0893
0,01	0,0998
0,02	0,1410
0,06	0,2430
0,1	0,3111
0,2	0,4328
0,3	0,5218
0,4	0,5932
0,5	0,6533
0,6	0,7051
0,7	0,7506
0,8	0,7910
0,9	0,8274
1	0,8603
1,5	0,9882
2	1,0769
3	1,1903
4	1,2607
5	1,3138
7	1,3766
10	1,4289
100	1,5552
∞	1,5700

tg μ = – μ / (Bi – 1) (шар)	
Bi	μ_1
0,01	0,1730
0,02	0,2445
0,04	0,3450
0,06	0,4217
0,08	0,4860
0,1	0,5423
0,2	0,7593
0,3	0,9208
0,4	1,0528
0,5	1,1656
0,6	1,2644
0,7	1,3525
0,8	1,4320
0,9	1,5044
1	1,5708
2	2,0288
3	2,2889
4	2,4557
5	2,5704
7	2,7165
10	2,8363
100	3,1105
∞	3,1400

Локальный электронный методический материал

Марина Николаевна Альшевская

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКЦИИ ИЗ РЫБЫ И МОРЕПРОДУКТОВ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 4,2. Печ. л. 3,3

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1