

Национальный банк Республики Беларусь
УО «Полесский государственный университет»

И.В. БУБЫРЬ, Ю.А. АРБЕКОВА, В.В. ШУМАК

**ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ
ТЕПЛОВОГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ**

Учебно-методическое пособие
по дисциплине «Холодильная технология и технология
теплового консервирования гидробионтов»

Для студентов специальности
«Промышленное рыбоводство» дневной формы обучения

Пинск
ПолесГУ
2013

УДК 621.56/.59:574.52(072)
ББК 36.95я73
Б90

Р е ц е н з е н т ы:
кандидат технических наук Тимофеева В.Н.;
кандидат технических наук Немиро В.А.

У т в е р ж д е н о:
научно-методическим советом ПолесГУ

Бубырь, И.В.

Б90 Холодильная технология и технология теплового консервирования гидробионтов / И.В. Бубырь, Ю.А. Арбекова, В.В. Шумак. – Пинск: ПолесГУ, 2013. – 65 с.

ISBN 978-985-516-226-2

Учебно-методическое пособие предназначено для проведения практических работ по учебному курсу «Технология холодильного хранения и теплового консервирования гидробионтов». Дополняет теоретический материал, способствует расширению практических навыков при решении насущных производственных задач.

Для студентов специальности «Промышленное рыбководство».

УДК 621.56/.59:574.52(072)
ББК 36.95я73

ISBN 978-985-516-226-2

© УО «Полесский государственный университет», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Практическая работа № 1. Тепловой расчет процесса охлаждения и замораживания гидробионтов.....	6
Практическая работа № 2. Расчет количества вымороженной воды при замораживании гидробионтов.....	12
Практическая работа № 3. Расчет средней конечной температуры замораживания гидробионтов.....	16
Практическая работа № 4. Расчет продолжительности замораживания гидробионтов.....	18
Практическая работа № 5. Методы расчета параметров процесса размораживания гидробионтов.....	25
Практическая работа № 6. Расчет потребности консервного предприятия в сырье, материалах, таре.....	33
Практическая работа № 7. Математическое выражение процесса стерилизации.....	42
Заключение.....	54
Приложение А.....	55
Приложение Б.....	59
Приложение В.....	60
Приложение Г.....	60
Литература.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетной задачей пищевой промышленности является разработка и создание качественных продуктов питания, отвечающих современным тенденциям производства и способных конкурировать на отечественном и зарубежном рынках. Постоянное совершенствование пищевых технологий – гарантия продовольственной безопасности и, как следствие, стабильности экономического развития государства.

Совершенствование существующих и создание новых производственных технологий требует от будущих специалистов усвоения глубоких знаний процессов, происходящих в пищевых продуктах на различных стадиях технологической обработки, умений практического применения полученных навыков.

Изучение учебного курса «Холодильная технология и технология теплового консервирования гидробионтов» предполагает формирование у студентов четких представлений о процессах, происходящих в пищевых продуктах при их охлаждении, замораживании, размораживании, стерилизации.

В данном учебно-методическом пособии рассматриваются основные аспекты холодильного и теплового консервирования гидробионтов, приведены методики расчета процессов охлаждения, замораживания, размораживания сырья и готовых пищевых продуктов; методики расчета потребности консервного производства в сырье, материалах, таре; приведена методика расчета и показано влияние различных факторов стерилизации на количественный состав микрофлоры консервированных продуктов.

Процессы, происходящие в рыбном сырье при охлаждении, замораживании, размораживании влияют на весь дальнейший технологический цикл и, в конечном итоге, играют важную роль в выпуске качественной продукции. Соблюдение режимов охлаждения, замораживания, стерилизации готовых продуктов способствует сохранению их качества на

протяжении всего срока хранения. Освоение методики расчета потребности консервных предприятий в сырье, материалах, таре является той базой, на основе которой выстраивается весь технологический процесс производства продуктов питания, что способствует формированию у студентов навыков рационального использования ресурсов предприятия.

С целью более глубокого понимания и усвоения дисциплины в пособии представлены некоторые теоретические выкладки процессов охлаждения, замораживания, размораживания рыбных продуктов, стерилизации рыбных консервов.

Решение предложенных в пособии практических заданий способствует закреплению у студентов полученных знаний. Выбранные практические задачи не только совершенствуют навыки студентов, но и формируют у студентов логическое мышление, способности к выбору и принятию эффективного решения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ТЕМА: ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Цель: Освоить методику расчета процесса охлаждения и замораживания гидробионтов

Теплофизическая основа охлаждения и замораживания сводится к понижению температуры тела посредством теплообмена его с охлаждающей средой.

По технологической необходимости сохранения качества сырья обычно стремятся осуществить процесс понижения температуры гидробионтов как можно быстрее, так как обеспечивается наиболее эффективное торможение биохимических, микробиологических и других изменений, сокращающих возможную продолжительность дальнейшего хранения продуктов и способных нанести ущерб их качеству.

Известны три пути, которыми пользуются для вычисления теплоты, отводимой от охлаждаемого тела.

Первый путь, основанный на законе Фурье, сводится к определению количества теплоты, передаваемой теплопроводностью от внутренних слоев тела к его внешней поверхности.

Второй путь, основанный на законе Ньютона-Рихмана, состоит в определении теплоты, передаваемой в процессе конвекции от поверхности тела к внешней среде.

Третий путь основан на учете удельной теплоемкости и массы, а также на учете изменения среднеобъемной температуры тела.

В холодильной технологии непосредственно для вычисления теплоты, отводимой от охлаждаемого тела, обычно пользуются последним из этих трех путей, если только не ставится какая-либо более сложная задача.

Процесс охлаждения гидробионтов условно рассматриваем как отвод теплоты от тела, в котором отсутствуют внут-

ренные источники теплоты. В этом случае отведенная теплота при охлаждении Q (кДж), выражается как произведение массы продукта G (кг) на его удельную теплоемкость c_0 [кДж/(кг×К)] и на разность начальной t_1 и конечной t_2 температуры (°С) среднеобъемных температур охлаждаемого тела:

$$Q = G \times c_0 \times (t_1 - t_2) \quad (1.1)$$

Теплоемкость – количество теплоты, поглощаемое телом при его нагревании или охлаждении на 1⁰С. Теплоемкость единицы массы называют удельной теплоемкостью. Теплоемкость рыбы определяется суммой теплоемкостей входящих в ее состав веществ (воды, жира, белка, минеральных веществ) (Приложение А).

Теплофизические свойства охлаждаемых продуктов всегда считают постоянными на протяжении охлаждения, за исключением их энтальпии. Поэтому удобнее пользоваться таблицами или диаграммами энтальпий гидробионтов и определять отводимую теплоту как произведение массы продукта на разность начальной i_1 и конечной i_2 (кДж/кг) удельных энтальпий:

$$Q = G \times (i_1 - i_2) \quad (1.2)$$

Энтальпия (теплосодержание) – количество теплоты, содержащееся в единице массы рыбы. Энтальпия рыбных продуктов при определенной температуре характеризуется линейной зависимостью от содержания влаги.

Значения энтальпий для некоторых видов рыб приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значения энтальпий, кДж/кг

Температура, °С	Морской окунь	Пикша	Сельдь жирная	Треска, хек серебристый
0	278,4	222,8	323,3	318,3
5	296,4	341,2	341,6	336,1
10	314,4	360,1	359,9	354,1
20	348,8	381,0	396,6	390,2

При охлаждении гидробионтов в них протекают биохимические экзотермические процессы. Для животных внут-

ренные тепловыделения могут составлять до 10 % от общего количества отводимой при охлаждении теплоты. Помимо внутреннего тепловыделения при расчетах необходимо учитывать и тепловой эффект испарения – конденсации при охлаждении продуктов.

Таким образом, чтобы выразить общее количество теплоты, которое должны воспринять охлаждающие приборы при охлаждении гидробионтов в воздухе, в формулу следует включить внутренние тепловыделения продукта и тепловой эффект испарения-конденсации при охлаждении.

$$Q = G \times [c_0 \times (t_1 - t_2) + q + g_0(r_k - r_u)] \quad (1.3)$$

В формуле (1.3) первое слагаемое в квадратных скобках можно заменить соответствующей разностью энтальпий; q представляет собой внутреннее тепловыделение единицы массы продукта за все время охлаждения; $(r_k - r_u)$ – разница между теплотой конденсации и испарения; g_0 – усушка.

Пусть охладилось G кг продукта, причем испарилось g кг влаги, тогда относительная потеря влаги продуктом (усушка) составит:

$$g_0 = g / G \quad (1.4)$$

Если отсутствуют потери массы продукта за счет испарения воды (охлаждение в жидких средах), формула упрощается, и может быть представлена в следующем виде:

$$Q = G \times [c_0 \times (t_1 - t_2) + q] \quad (1.5)$$

Формула (1.3) не учитывает дополнительных эксплуатационных теплопритоков в камеру через ограждения, двери, от работающих людей и др.

Замораживание гидробионтов по сравнению с охлаждением – процесс более сложный по технологическим и теплофизическим признакам.

Замораживание как физическое явление представляет собой превращение в лед влаги, содержащейся в продукте, вследствие понижения температуры продукта ниже криоскопической точки. Начальная температура замерзания тканево-

го сока называется криоскопической и зависит от его концентрации.

Криоскопическая температура – переменная величина, так как при кристаллизации льда концентрация невы мороженной части возрастает, что обуславливает дальнейшее понижение температуры замерзания. Ввиду переменности криоскопической температуры правильнее говорить о начальной криоскопической температуре, под которой понимается температура, соответствующая началу льдообразования в продукте.

Теплоту, которую нужно отвести от продукта, чтобы осуществить его замораживание, в холодильной технологии часто называют расходом холода при замораживании.

Как правило, в морозильное устройство помещается продукт, начальная температура (t_1) которого выше, а конечная температура (t_2) ниже криоскопической ($t_{кр}$) в любой его точке. Этот интервал изменения температуры продукта включает охлаждение его от начальной температуры до криоскопической и собственно замораживание, характеризующееся льдообразованием, происходящим в области температур от криоскопической до конечной. При этом переохлаждением влаги в продукте можно пренебречь.

В таком процессе замораживания охлаждение и льдообразование не разделяют во времени. Когда в периферийных слоях уже началось льдообразование, центральные слои еще продолжают охлаждаться. Теплота, отводимая от замораживаемого продукта, выражается формулой:

$$Q = G \times [c_{л} \times (t_1 - t_{кр}) + r_{л} \times W \times \omega + c_3(t_{кр} - t_2)], \quad (1.6)$$

где G – масса продукта, кг; $c_{л}$ – удельная теплоемкость продукта до льдообразования, кДж/(кг×К); t_1 , t_2 , $t_{кр}$ – соответственно среднеобъемная начальная, конечная и криоскопическая температура продукта, °С; $r_{л}$ – удельная теплота льдообразования, кДж/кг; W – относительное содержание влаги в продукте, в долях единицы; ω – удельная масса вымороженной воды, кг/кг; c_3 – удельная теплоемкость замороженного продукта, кДж/(кг×К).

Удельная теплоемкость замороженного продукта определяется при среднелогарифмической температуре:

$$t_{\text{ср.л}} = (t_2 - t_{\text{кр}}) / \ln(t_2 / t_{\text{кр}}) \quad (1.7)$$

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

$$c_3 = c_{\text{л}} - 2,1 \text{ W } \omega \quad (1.8)$$

Первое слагаемое в формуле (1.6) выражает теплоту охлаждения продукта до $t_{\text{кр}}$. Второе слагаемое – количество теплоты, выделившееся при кристаллизации влаги. Это слагаемое составляет 70–80 % от Q . Третье слагаемое – теплота, отводимая при понижении температуры замороженного продукта и при одновременно продолжающемся кристаллообразовании.

Теплота, которую нужно отвести от продукта для его домораживания от начальной температуры t' , лежащей ниже криоскопической, до конечной $t_{\text{кр}}$, выразится следующим образом:

$$Q = G \times [\Gamma_{\text{л}} W (\omega_2 - \omega') + c_{\text{м}}(t' - t_{\text{кр}})], \quad (1.9)$$

где ω_2 и ω' – количество вымороженной воды при температурах t_2 и t' , которые нужно находить как среднеобъемные.

Если рыба замораживается в упаковке, то рассчитывается расход холода на охлаждение упаковки:

$$Q_y = m_y C_y (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}), \quad (1.10)$$

где Q_y – расход холода на охлаждение упаковки, кДж; C_y – теплоемкость упаковочного материала, кДж/(кг·К); $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ – начальная и конечная температуры упаковки, К.

Практические задания

1. Найдите общий и суточный расход холода при охлаждении холодильной камеры и помещенной в нее продукции 300 кг морского окуня, уложенного в деревянные ящики. Масса тары составляет 20 % от массы продукта, начальная температура рыбы 15°C, конечная -1°C; площадь поверхности камеры 70 м²; коэффициент теплопередачи 0,6 Вт/(м²·К);

температура в камере $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а снаружи $31\text{ }^{\circ}\text{C}$; удельная теплоемкость тары $2510\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. За сутки продукция охлаждается на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Найдите общий и суточный расход холода при охлаждении 500 кг пикши, начальная температура рыбы $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, конечная $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. За сутки продукция охлаждается на $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Определить количество отводимой теплоты при охлаждении 1000 кг хека серебристого, начальная температура рыбы $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, конечная $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, используя значения энтальпий.

4. Определить количество отводимой теплоты при охлаждении 800 кг сельди жирной, начальная температура рыбы $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, конечная $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, используя значения энтальпий и удельную теплоемкость рыбы. Полученные результаты сравнить.

5. Рыба в количестве $20\ 000\text{ кг}$ теплоемкостью $3,31\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, фасованная по 20 кг в ящике, охлаждается от 20 до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса одного ящика 5 кг . Определите количество теплоты, необходимое для охлаждения рыбы в ящиках, изготовленных из пластмассы теплоемкостью $1,80\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

6. Определите количество теплоты, которое необходимо отвести от $4\ 000\text{ кг}$ рыбы при охлаждении и замораживании от начальной температуры $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до конечной среднеобъемной $18\text{ }^{\circ}\text{C}$; теплоемкость незамороженной рыбы $3,4\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; замороженной $1,83\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; криоскопическая температура $t_{\text{кр}} = -0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$; влагосодержание $0,67$.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ТЕМА: РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫМОРОЖЕННОЙ ВОДЫ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ ГИДРОБИОНТОВ

Цель: Освоить методику расчета количества вымороженной воды при замораживании гидробионтов

В пищевых продуктах, в том числе и в гидробионтах, образование льда начинается при температурах ниже температуры замерзания их растворов ($t_{кр}$), величины которых для одного вида продукта меняются в широких пределах (см. табл. 2.1).

Количество вымороженной воды (ω) представляют как долю от общей ее массы в продукте. Так как в воде пищевых продуктов растворены различные минеральные и органические вещества, то понижение температуры при определенных условиях сопровождается изменением концентрации раствора.

Процесс льдообразования в пищевых продуктах с понижением температуры можно представить как плавный непрерывный процесс повышения концентрации остаточного незамороженного раствора и понижения его температуры замерзания.

Полное превращение тканевой влаги в лед из-за трудностей вымораживания адсорбционно-связанной воды происходит при криогидратной (эвтектической) температуре в интервале $-55 \dots -65^\circ\text{C}$. В настоящее время имеются данные, что жидкая фаза сохраняется при -68°C и полностью вымораживается только при -70°C .

Количество вымороженной воды (ω) можно представить как отношение массы льда ($G_{л}$) при данной температуре к суммарной массе льда и незамерзшей воды, равной начальной массе воды (G_w), т.е.

$$\omega = \frac{G_{л}}{G_w} = 1 - \frac{G_w - G_{л}}{G_w} \quad (2.1)$$

Зависимость количества вымороженной воды от температуры можно получить, воспользовавшись законом для разбавленных недиссоциированных растворов. Так как температура замерзания растворителя (воды) 0°C , то начальная криоскопическая температура определяется по формуле:

$$t_{\text{кр}} = \varepsilon C_{\text{кр}}, \quad (2.2)$$

где ε – коэффициент, называемый криоскопической постоянной; C – молярная концентрация раствора.

Концентрация при $t_{\text{кр}}$ определяется следующим образом:

$$C_{\text{кр}} = \frac{G_p}{G_w \mu}, \quad (2.3)$$

где G_p – масса растворенного вещества, кг; μ – молекулярная масса растворенного вещества, кг/кмоль.

При понижении температуры и льдообразовании в растворе то же количество растворенного вещества (G_p) окажется растворенным в меньшем количестве растворителя ($G_w - G_{\text{л}}$), что соответствует росту концентрации и понижению криоскопической температуры раствора, которую можно записать в следующем виде:

$$t = \varepsilon C, \quad \text{где } C = \frac{G_p}{(G_w - G_{\text{л}}) \mu}, \quad (2.4)$$

Отсюда следует:

$$\frac{t_{\text{кр}}}{t} = \frac{C_{\text{кр}}}{C} = \frac{G_w - G_{\text{л}}}{G_w}, \quad (2.5)$$

Сопоставив этот результат с выражением ω в уравнении (2.1), получим

$$\omega = 1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t} = \frac{t - t_{\text{кр}}}{t}, \quad (2.6)$$

где $t_{\text{кр}}$ – криоскопическая температура, $^{\circ}\text{C}$; t – температура продукта, $^{\circ}\text{C}$.

Считая, что при криоскопической температуре $\omega_0 = 0$ и эвтектической температуре соответствует максимальное количество вымороженной воды в пределе $\omega_{\text{max}} = 1$, получим предельное приращение количества вымороженной воды:

$$\Delta\omega = \omega_{\text{max}} - \omega_0 = 1, \quad (2.7)$$

что соответствует интервалу температур от $t_{кр}$ до t_3 .
Из формул (2.6) и (2.7) следует:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{t_{кр}}{t} \Delta\omega. \quad (2.8)$$

Вода в лед полностью не превращается даже при эвтектической температуре. Объясняется это присутствием в гидробионтах связанной воды, отличающейся по свойствам от чистой воды. Если не считать небольшого количества воды, удерживаемой механически, то вся вода в пищевых продуктах является связанной.

Прочно связанная вода характеризуется большой теплотой испарения и не замерзает даже при низких температурах, так как энергия ее связи составляет от 80 до 155 кДж/кг. Так, при температуре $-100\text{ }^\circ\text{C}$ и ниже в пищевых продуктах не замерзает от 5 до 13 % воды. Это обстоятельство не учитывается в расчетных формулах (2.6)...(2.8), полученных на основании закона Рауля.

Поэтому опытные и расчетные значения ω различаются на 7...10 %, причем наибольшее различие приходится на область низких температур, поскольку прочно связанная вода составляет основную долю всей невымороженной воды.

В формулу (2.6) может быть внесен множитель, учитывающий в пищевых продуктах количество прочно связанной воды:

$$\omega = \left(1 - b \frac{1 - W_H}{W_H}\right) \left(1 - \frac{t_{кр}}{t}\right) \quad (2.9)$$

где b – содержание прочно связанной воды на единицу массы сухого вещества, кг/кг; W_H – начальное содержание влаги в продукте, доли единицы.

$$\frac{W_3}{W_H} = 1 - b \frac{1 - W_H}{W_H} \quad (2.10)$$

По сути, это отношение количества способной превратиться в лед воды W_3 к общему количеству воды W_H .

Таблица 2.1 – Криоскопические температуры $t_{кр}$ и содержание прочно связанной воды b в единице массы сухого вещества для гидробионтов

Продукт	W_n , доли единицы	$t_{кр}$, °C	b , кг/кг
Пикша	0,836	-0,83	0,270
Треска	0,803	-0,91	0,278
Морской окунь	0,791	-0,83	0,280
Мойва	0,632	-1,2	0,158
Паста «Океан» из криля	0,736	-1,55	0,279

Практические задания

1. Рассчитайте количество вымороженной воды в треске при температурах:

-2°C, -5 °C, -10 °C, -15 °C, -20 °C, -30 °C. Постройте график зависимости $\omega = f(t)$.

2. Рассчитайте количество вымороженной воды в пикше при температурах: -1°C, -5 °C, -10 °C, -15 °C, -20 °C, -25 °C. Расчеты провести с учетом и без прочно связанной воды. Результаты сравнить, сделать выводы.

3. Рассчитайте количество вымороженной воды в мойве при температурах: -7°C, -12 °C, -16 °C, -20 °C, -24 °C, -28 °C. Постройте график зависимости $\omega = f(t)$.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ТЕМА: РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ КОНЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Цель: Освоить методику расчета средней конечной температуры замораживания гидробионтов

В практике хранения замороженных гидробионтов и при тепловых расчетах их замораживания часто необходимо знать, какую температуру они имеют в конце этого процесса. Практически конечная температура замораживаемого продукта никогда не доводится до одинаковых значений во всех его точках. В центральной части продукта она значительно выше, чем в слоях, расположенных ближе к поверхности. В связи с этим возникла необходимость ввести понятие о средней конечной температуре замораживания.

Д. Г. Рютов предложил для определения средней конечной температуры замораживания формулу, в которую не входит температура поверхности продукта. Выведена эта формула для продуктов, имеющих форму плоской пластины при двухстороннем их замораживании. Формула имеет вид:

$$t_{\text{ск}} = \frac{t_{\text{кц}}(Bi + 2) + t_{\text{с}}Bi}{2(Bi + 1)}, \quad (3.1)$$

где $t_{\text{с}}$ – температура теплоотводящей среды, °С; $t_{\text{кц}}$ – конечная температура в центре замораживаемого продукта, °С; Bi – критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda_{\text{м}}}, \quad (3.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи при замораживании Вт/(м²·К); δ – половина толщины продукта, м; $\lambda_{\text{м}}$ – коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/(м²·К).

Для приближенных расчетов формулой Д.Г. Рютова можно пользоваться и в случае замораживания продуктов других форм.

В практике хранения замороженных продуктов средняя конечная температура их замораживания должна быть такой же, как и температура воздуха в камере хранения. Если она будет выше этой температуры, то в камере нарушится температурный режим.

Следовательно, в этом случае конечная температура замораживания продуктов определяется температурой, при которой они будут храниться. Но чтобы обеспечить такую конечную температуру замораживания продукта, надо довести до соответствующего значения температуру в его центре.

Практические задания

1. Определить среднюю конечную температуру замораживания трески в блоках, толщиной 20 см, если температура теплоотводящей среды -30°C ; конечная температура в центре замораживаемого продукта -15°C . Замораживание осуществляется в камерах с принудительной циркуляцией воздуха.

2. Определить среднюю конечную температуру замораживания пикши в блоках, толщиной 100 мм, если температура теплоотводящей среды -35°C ; конечная температура в центре замораживаемого продукта -17°C . Замораживание осуществляется в плиточных морозильных аппаратах.

3. Определить среднюю конечную температуру замораживания мойвы в блоках, толщиной 15 см, если температура теплоотводящей среды -40°C ; конечная температура в центре замораживаемого продукта -10°C . Замораживание осуществляется в криогенных морозильных аппаратах с орошением продуктов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ТЕМА: РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Цель: Освоить методику расчета продолжительности замораживания гидробионтов

Замораживание, за исключением замораживания жидких и пастообразных продуктов с помощью вакуума, начинается на внешней поверхности и постепенно, послойно углубляется внутрь объекта. Физическую модель этого процесса удобнее всегда представить в виде задачи о теплопроводности с «подвижными границами», имея в виду границу между твердой (кристаллической) и жидкой фазами, которая в ходе процесса непрерывно перемещается от поверхности объектов к центру. Существует несколько решений данной задачи, но в холодильной технологии наиболее широко распространен метод расчета процесса, разработанный Р. Планком в 1913 г.

При выводе формулы Планка сделаны следующие допущения, упрощающие решение задачи:

- 1) однородное влагосодержащее тело до процесса замораживания охлаждено до криоскопической температуры;
- 2) льдообразование (кристаллизация) протекает без переохлаждения и совершается изотермически при криоскопической температуре;
- 3) теплофизические свойства не зависят от температуры;
- 4) теплоемкость замороженной части тела равна нулю;
- 5) температура среды и коэффициент теплоотдачи постоянны.

Объект замораживания является неограниченным телом с плоской поверхностью. За время dt граница раздела (рис. 4.1) продвинулась на расстояние dx . Выделяемая при этом теплота составит:

$$dQ = q\rho Fdx, \quad (4.1)$$

где q – теплота, отводимая от единицы массы тела, кДж/кг; ρ – плотность, кг/м³; F – площадь поверхности границы раздела фаз, м².

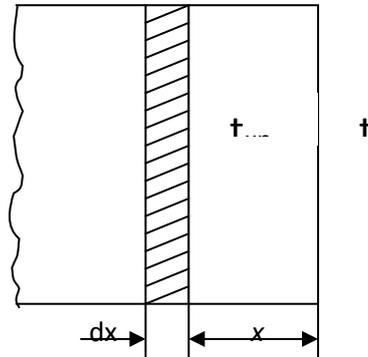


Рисунок 4.1 – Схема замораживания неограниченного тела с плоской поверхностью

Эта теплота передается через замороженный слой материала внешней среде.

$$dQ = kF\vartheta d\tau, \quad (4.2)$$

где $k = (x/\lambda + 1/\alpha)^{-1}$ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); α – коэффициенты теплоотдачи; λ – теплопроводность замороженного материала, Вт/(м·К); $\vartheta = (t_{кр} - t_c)$ – избыточная температура, К; $t_{кр}$ – криоскопическая температура, К; t_c – температура среды, К.

Так как теплоемкость замороженного слоя равна нулю, то приравниваем теплоту, выделенную и отведенную к внешней среде. Из полученного уравнения определим продолжительность продвижения границы раздела фаз на расстоянии, равном dx .

$$d\tau = \frac{q\rho}{\lambda\vartheta} x dx + \frac{q\rho}{\alpha\vartheta} dx \quad (4.3)$$

Если учесть исходные условия, то все величины, кроме τ и x , постоянны, поэтому при интегрировании получаем

$$\tau = \frac{q\rho}{\lambda\vartheta} \frac{x^2}{2} + \frac{q\rho}{\alpha\vartheta} x \quad (4.4)$$

(постоянная интегрирования равна нулю, так как при $\tau = 0, x = 0$, т.е. в начале процесса граница раздела находится на внешней поверхности тела). Более удобная форма уравнения:

$$\tau = \frac{q\rho}{g} x \left(\frac{x}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right). \quad (4.5)$$

Эта формула получила название формулы Планка. В общем случае она имеет вид:

$$\tau = A_{\phi} \frac{q \cdot \rho \cdot \ell}{t_{кр} - t_c} \left(\frac{\ell}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (4.6)$$

где A_{ϕ} – коэффициент формы тела; ℓ – половина определяющего геометрического размера тела.

Значения коэффициента формы: для пластины $A_{\phi} = 1$; для цилиндра $A_{\phi} = 1/2$; для шара $A_{\phi} = 1/3$.

Итак, продолжительность замораживания по Планку есть время, в течение которого сходятся границы раздела фаз при симметричном теплоотводе и начальной температуре объекта, равной криоскопической $t_{кр}$. Однако реальные условия далеки от принятых при выводе формулы, поэтому, используя формулу Планка, вносят некоторые уточнения:

1) величину q определяют, учитывая теплоту, отводимую при охлаждении, кристаллизации, и теплоту, отводимую после схождения границ раздела при понижении температуры тела до t_2 :

$$q = c_l \times (t_1 - t_{кр}) + r_l \times W \times \omega + c_3(t_{кр} - t_2); \quad (4.7)$$

2) в случае, когда при замораживании t_c и α являются переменными, при расчете берутся средние их значения;

3) коэффициент теплопроводности λ вычисляется при средней температуре ($t_{ср.л}$) в интервале от $t_{кр}$ до среднеобъемной t_2 .

Следует также отметить, что формула Планка справедлива для симметричных условий теплообмена. Однако на практике часто встречаются случаи несимметричного теплообмена, например теплообмен при замораживании материалов методом форсуночного распыления хладагента (жидкого азота). Если $\alpha_1 > \alpha_2$ (рис. 4.2), то границы раздела фаз сойдутся не на осевой линии пластины, а на некотором расстоянии от нее. При этом продолжительность перемещения фронта кристаллизации с нижней и верхней поверхности одинакова ($\tau_1 = \tau_2$).

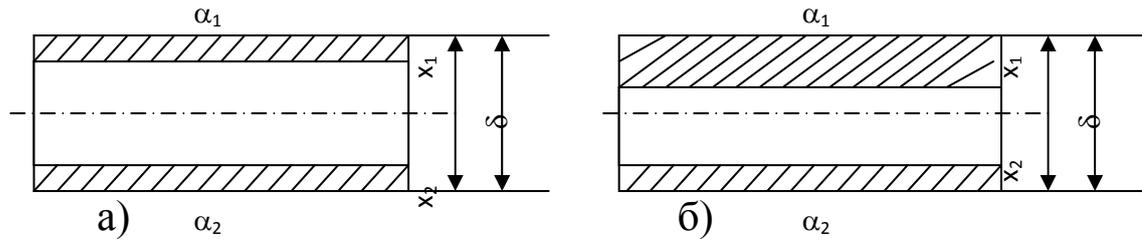


Рисунок 4.2 – Схема замораживания плоской пластины при симметричных (а) и несимметричных (б) условиях теплообмена на поверхностях

В соответствии с формулой Планка получим следующее:

$$\tau_1 = \frac{q\rho}{\vartheta} x_1 \left(\frac{x_1}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} \right); \tau_2 = \frac{q\rho}{\vartheta} x_2 \left(\frac{x_2}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (4.8)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи на двух поверхностях.

Если учесть, что $x_1 + x_2 = \delta$ и $q\rho/\vartheta = \text{const}$, то совместное решение приведенных выше уравнений позволит получить следующее:

$$x_1 = \frac{\delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad x_2 = \frac{\delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} \right)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (4.9)$$

Тогда продолжительность замораживания до момента схождения границ раздела составит:

$$\tau = \frac{q\rho}{\vartheta} \frac{\delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} \left[\frac{\delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}{2\lambda \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} \right)} + \frac{1}{\alpha_1} \right] \quad (4.10)$$

Таким образом, зная коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 , можно рассчитать продолжительность замораживания при несимметричном теплообмене.

Для различных способов замораживания пищевых продуктов значения коэффициента теплоотдачи α находится в следующих пределах:

- в камерах замораживания с естественной или незначительной принудительной циркуляцией воздуха (скорость движения до 2 м/с) $\alpha = 8 \dots 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- камерах замораживания с принудительной циркуляцией воздуха (скорость движения от 2 до 8 м/с) $\alpha = 15 \dots 45 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- во флюидизационных морозильных аппаратах $\alpha = 60 \dots 100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- в плиточных морозильных аппаратах $\alpha = 500 \dots 1000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- иммерсионных морозильных аппаратах $\alpha = 1000 \dots 2000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- криогенных морозильных аппаратах с орошением продуктов $\alpha = 1000 \dots 2000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;
- криогенных морозильных аппаратах с погружением продуктов $\alpha = 5000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Если замораживанию подвергают упакованный продукт, то продолжительность процесса рассчитывают с учетом термического сопротивления упаковки и других слоев по следующей формуле:

$$\tau = A_{\Phi} \frac{q \cdot \rho \cdot \ell}{t_{\text{кр}} - t_{\text{с}}} \left[\frac{\ell}{2\lambda} + \left(\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_{\text{доп}}}{\lambda_{\text{доп}}} \right) \right] \times 10^3, \quad (4.11)$$

где τ – продолжительность замораживания, с; q – удельная теплота замораживания, кДж/кг; ρ – плотность замороженного продукта, кДж/кг; ℓ – половина толщины (для пластины) или радиус (для цилиндра, шара) замораживаемого продукта, м; λ – коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/м·К; $\delta_{\text{доп}}$ – толщина дополнительных слоев (упаковки и др.), м; $\lambda_{\text{доп}}$ – коэффициент теплопроводности дополнительных слоев, Вт/м·К.

Среднее значение коэффициента теплопроводности некоторых упаковочных материалов представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Типовые значения коэффициентов теплопроводности для упаковочных материалов, предназначенных для пищевых продуктов

Упаковочный материал	Диапазон λ , Вт/м·К	Среднее значение λ , Вт/м·К
Твердый картон	0,06 – 0,08	0,65
Гофрированный картон	0,04 – 0,065	0,048
Бумага		0,13
Древесина (мягкая)	0,1 – 0,2	0,12
Полиэтилен высокой плотности		0,48
Полиэтилен низкой плотности		0,33
Полипропилен		0,12
Политетрафторэтилен		0,26
Воздух	0,021 – 0,027	0,025
Алюминий	200 – 270	220
Сталь	40 – 50	45

Практические задания

1. Определите продолжительность замораживания 300 кг рыбы(треска) от начальной температуры $t_n=18^\circ\text{C}$ при температуре воздуха $t_v= -22^\circ\text{C}$, в камерах с естественной циркуляцией воздуха.

2. Определите продолжительность замораживания 250 кг рыбы(сазан) от начальной температуры $t_n=15^\circ\text{C}$ при температуре воздуха $t_v= -20^\circ\text{C}$, в плиточных морозильных аппаратах. Рыба упакована в полиэтилен высокой плотности.

3. Определить продолжительность замораживания 550 кг пикши в блоках, толщиной 100 мм, если температура теплоотводящей среды -35°C ; начальная температура продукта -

1°C. Замораживание осуществляется в плиточных морозильных аппаратах. Рыба упакована в гофрированный картон.

4. Определить продолжительность замораживания 1000 кг мойвы в блоках, толщиной 15 см, если температура теплоотводящей среды -40°C; начальная температура 10°C. Замораживание осуществляется в криогенных морозильных аппаратах с орошением продуктов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

ТЕМА: МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗМОРАЖИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

**Цель: Освоить методику расчета процесса
размораживания гидробионтов**

При размораживании к мороженым продуктам подводится теплота, количество которой зависит от удельной теплоты размораживания и массы продукта. Удельная теплота размораживания, в свою очередь, зависит от начальной и конечной температур продукта и количества содержащейся в нем воды. Количество теплоты, необходимое для полного размораживания продукта, определяется по формуле:

$$Q = G[c_m(t_{кр} - t_H) + r W \omega + c_0(t_{с.к} - t_{кр})], \quad (5.1)$$

где G – масса продукта, кг; c_0 , c_m – удельная теплоемкость продукта соответственно до и после размораживания, Дж/(кг·К); $t_{кр}$ – криоскопическая температура продукта, °С; t_H , $t_{с.к}$ – соответственно начальная и средняя конечная температуры продукта, °С; r – скрытая теплота плавления кристаллов льда, Дж/кг; W – содержание воды в продукте, в долях единицы; ω – количество вымороженной воды.

Как следует из формулы (5.1), количество теплоты, которое необходимо подвести к продукту, состоит из теплоты для повышения его внутренней температуры до криоскопической, теплоты таяния (фазовое превращение) и теплоты, требуемой для повышения температуры уже размороженного продукта до заданной конечной.

Окончание процесса размораживания определяют по криоскопической температуре в тепловом центре продукта. Конечная же температура размороженного продукта зависит от его целевого назначения (употребления, кулинарной обработки, производства других продуктов и т.д.).

Продолжительность размораживания продуктов при обработке в одном и том же интервале температур зависит от способа передачи теплоты. Процессы, передача теплоты в которых осуществляется с использованием поверхностного нагрева продуктов (путем теплообмена между поверхностью продукта и теплопередающей средой, а затем путем теплопроводности от поверхности к внутренним слоям продукта), продолжаются часы и сутки, в то время как размораживание с объемным нагревом продукта происходит за минуты.

Продолжительность процессов размораживания при всех способах передачи тепла зависит от размеров продуктов. Кроме того, при объемном нагреве она зависит от электрофизических характеристик, частоты и напряжения электрического поля, при поверхностном – от теплопроводности и теплоты фазового перехода, а также температуры, скорости движения и вида теплопередающей среды (воздух, вода, рассолы, растворы).

Продолжительность размораживания в воздушной среде продуктов (с) рассчитывают по формуле:

$$\tau = \frac{q\rho_{\text{пр}}\ell}{t_c - t_{\text{кр}}} \left(\frac{\ell}{2\lambda_{\text{пр}}} + \frac{1}{\alpha} \right) K_{\text{ф}} m, \quad (5.2)$$

где q – теплота фазового перехода, Дж/кг; $\rho_{\text{пр}}$ – плотность продукта, кг/м³; ℓ – половина определяющего размера (половина толщины пластины), м; t_c – температура воздушной среды, °С; $\lambda_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи от воздушной среды к поверхности продукта, Вт/(м²·К); $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы продукта; m – коэффициент, учитывающий продолжительность процесса при изменении температуры продукта от начальной до криоскопической и от криоскопической до конечной.

Продолжительность размораживания в воздушной среде продуктов, имеющих форму пластины, рассчитывают по формуле (5.2) без учета коэффициента формы продукта $K_{\text{ф}}$. Для продуктов, имеющих неправильную геометрическую

форму, приближающуюся к шару, можно в эту формулу подставить среднее значение половины диаметра продукта d_{np} вместо ℓ .

$$d_{np} = 1,243\sqrt[3]{V_{np}}, \quad (5.3)$$

где V_{np} – объем продукта, m^3 .

Продолжительность размораживания блоков рыбы и других продуктов при орошении водой ориентировочно можно определить по зависимости:

$$\tau = \{[3150\ell/(t_w^2 + 200)] + 0,91\}3600, \quad (5.4)$$

где t_w – температура воды, $^{\circ}C$.

Продолжительность размораживания блоков рыбы и других продуктов в вакууме определяют с помощью уравнения:

$$\tau = (\sqrt[3]{G_{np}}) / \Psi, \quad (5.5)$$

где G_{np} – масса размораживаемого блока, кг; Ψ – темп размораживания, s^{-1} ;

$$\Psi = \alpha \Delta t K_{\phi} / (3q\rho_{np}^{2/3}), \quad (5.6)$$

где Δt – разность между температурой теплопередающей среды (пара) и средней температурой поверхности продукта, $^{\circ}C$; K_{ϕ} – коэффициент формы, m^{-1} .

Коэффициент теплоотдачи ориентировочно определяют по формуле:

$$\alpha = 160 / \sqrt[4]{[(t_{np} - t_0)\ell]}. \quad (5.7)$$

Коэффициент формы рассчитывают с помощью отношения:

$$K_{\phi} = F_{np} / V_{np}^{2/3}, \quad (5.8)$$

где F_{np} и V_{np} – площадь поверхности (m^2) и объем (m^3) размораживаемого продукта.

Для определения продолжительности размораживания рыбы (блоков или отдельных видов) путем погружения их в воду и орошения водой разработаны номограммы, учитывающие зависимость τ от массы продукта, его начальной температуры и температуры воды (рис. 5.1, а, б). Для определения продолжительности размораживания блоков рыбы в вакууме также разработана номограмма, учитывающая зависи-

мость τ от массы продукта, его начальной температуры и температуры среды (рис. 5.1, в).

По этим номограммам продолжительность размораживания определяется в последовательности:

на нижней горизонтальной шкале откладывают температуру теплоносителя t_w и двигаются вверх по изотерме (стрелка 1) до пересечения с линией определенной массы;

на левой вертикальной шкале отыскивают значение массы продукта $G_{пр}$ и двигаются по стрелке 2 вправо до пересечения со стрелкой 1;

из точки пересечения стрелок 1 и 2 проводят вверх вправо прямую, параллельную наклонным линиям (стрелка 3) до пересечения с изотермой начальной температуры продукта $t_{нач}$;

на верхней горизонтальной шкале находят значение начальной температуры продукта $t_{нач}$ и по изотерме (стрелка 4) получают точку пересечения со стрелкой 3;

из этой точки проводят горизонтальную прямую (стрелка 5) до правой вертикальной шкалы τ , с которой считывают продолжительность размораживания.

Если с помощью приведенных номограмм определить продолжительность размораживания блока рыбы массой 10 кг от начальной температуры минус 7 °С до криоскопической при обработке водой, температура которой 20 °С, путем погружения и орошения, а также обработке в вакууме при той же температуре, то продолжительность размораживания при погружении будет составлять 4,5 часа, орошении – 2 часа, в вакууме – 0,82 часа, т.е. наиболее интенсивным является размораживание в вакууме, наиболее продолжительным – путем погружения в воду.

При построении номограмм приняты следующие усредненные параметры: плотность продукта $\gamma_{пр} = 1000 \text{ кг/м}^3$; криоскопическая температура продукта $t_{кр} = -1 \text{ °С}$; температура воды изменяется от 10 до 35 °С; коэффициент теплопроводности размороженного продукта $\lambda_{пр} = 0,465 \text{ Вт/(м·К)}$; коэффициент теплоотдачи при погружении продуктов в воду $\alpha_{погр} = 350 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, что соответствует скорости движения

воды не более 0,1 м/с; коэффициент теплоотдачи при орошении продуктов водой $\alpha_{ор} = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Номограммы позволяют определять продолжительность размораживания не только рыбы, но и других продуктов, близких к ней по теплофизическим параметрам, а также продуктов в условиях, незначительно отличающихся от указанных.

Количество теплоты, подводимой при размораживании продуктов, можно рассчитать по разности энтальпий продукта в размороженном и мороженом виде.

$$Q_{пр} = G_{пр}(i_p - i_m), \quad (5.9)$$

где $G_{пр}$ – масса размораживаемого продукта, кг; i_p и i_m – энтальпия соответственно размороженного и мороженого продуктов при конечной и начальной среднеобъемной температуре, кДж/кг.

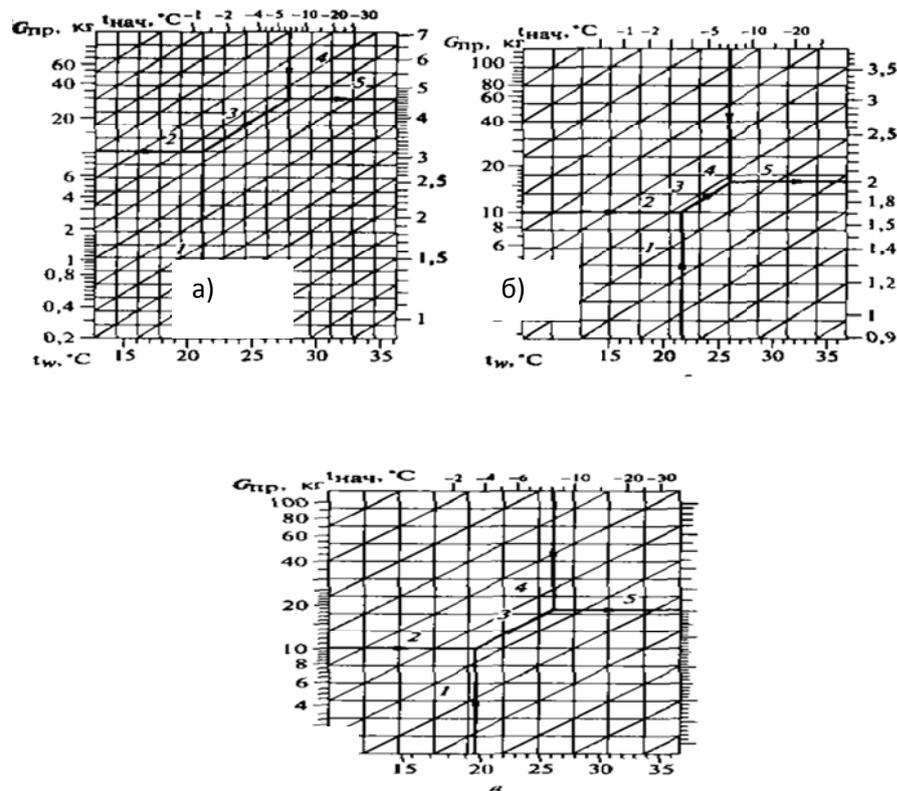


Рисунок 5.1 – Номограммы для определения продолжительности размораживания блоков рыбы погружением в воду (а), орошением (б), в вакууме (в)

Расчет тепло- и влагопритоков от других источников (через ограждающие конструкции, от электродвигателей и др.), тепловой и влажностной нагрузок, а также расчет и подбор кондиционирующих устройств выполняют по определенной методике.

Удельную мощность (Вт/см^3), необходимую для размораживания единицы объема продукта, при микроволновом энергоподводе рассчитывают по формуле:

$$N_{\text{уд}} = 0,556 \times 10^{-12} E^2 f \epsilon' \text{tg} \delta, \quad (5.10)$$

где E – напряженность переменного электрического поля, В/см ; f – частота электрического поля, Гц ; ϵ' – диэлектрическая проницаемость продукта; $\text{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Произведение $\epsilon' \text{tg} \delta$ называют коэффициентом диэлектрических потерь. Следовательно, мощность микроволнового нагрева пропорциональна квадрату напряженности переменного электрического поля, частоте поля и коэффициенту диэлектрических потерь, зависящему от свойств обрабатываемых продуктов. Из формулы (5.10) следует: чем больше частота электрического поля, тем большая часть подводимой энергии преобразуется в тепловую. Но выбор частоты также зависит от размеров продуктов. С увеличением частоты уменьшается глубина проникновения микроволновой энергии в продукты. Эта глубина зависит также от диэлектрических свойств продуктов, которые характеризуются коэффициентом диэлектрических потерь.

Практически коэффициент диэлектрических потерь характеризует скорость поглощения электромагнитной энергии различными продуктами. Различия в скорости поглощения электромагнитных волн наблюдаются даже у одного и того же продукта, находящегося в замороженном и размороженном состоянии. Это обусловлено тем, что диэлектрическая проницаемость воды ($\epsilon' = 81$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$) больше диэлектрической проницаемости льда ($\epsilon' = 74,6$ при $0 \text{ }^\circ\text{C}$). Обычно коэффициент диэлектрических потерь остается незначительным до начала таяния льда. Затем он увеличивается в зоне таяния льда в

связи с высоким содержанием воды в продуктах (примерно 70–90 %). Кроме того, при таянии льда соли и другие вещества, присутствующие в продуктах, способствуют увеличению коэффициента диэлектрических потерь в связи с увеличением диэлектрической проницаемости ϵ' и тангенса угла $\text{tg}\delta$.

Значительное влияние на изменение величины коэффициента диэлектрических потерь в размораживаемых продуктах оказывает также присутствие жира. С увеличением содержания жира коэффициент уменьшается и, следовательно, уменьшается эффективность нагрева.

Анализ различных методов размораживания показывает, что при применении любого теплоносителя (воздуха, воды) ускорение процесса ограничено. При размораживании гидробактерионтов, замороженных в блоках, для промышленных целей по общепринятой ускоренной технологии нагревания за счет тепловой конвекции воздуха или подогревания водой возможны загрязнение и порча продуктов.

Практические задания

1. С помощью номограммы определить продолжительность размораживания блока рыбы массой 15 кг от начальной температуры -10°C до криоскопической при обработке водой, температура которой 15°C , путем погружения.

2. С помощью номограммы определить продолжительность размораживания рыбы массой 20 кг от начальной температуры -15°C до криоскопической при обработке водой, температура которой 23°C , путем орошения.

3. С помощью номограммы определить продолжительность размораживания блока рыбы массой 8 кг от начальной температуры -13°C до криоскопической при обработке в вакууме, при температуре 20°C .

4. Определить количество теплоты, необходимой для полного размораживания блока рыбы (треска), массой 15 кг, от

начальной температуры -25°C до средней конечной температуры -1°C .

5. Определить количество теплоты, необходимой для повышения внутренней температуры сазана до криоскопической, массой 15 кг, от начальной температуры -20°C .

6. Какое количество тепла в сутки необходимо подвести к 150 кг судака и 150 кг трески, чтобы разморозить от -20°C до 0°C , если количество вымороженной влаги составляет 90 %? Объясните причину различного расхода тепла.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

ТЕМА: РАСЧЕТ ПОТРЕБНОСТИ КОНСЕРВНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В СЫРЬЕ, МАТЕРИАЛАХ, ТАРЕ

Цель: Освоить методику расчета норм расхода сырья, материалов, тары

Качество консервной продукции определяют на основании данных органолептических, физико-химических и микробиологических исследований. Вместе с тем, показатели качества зависят и от рецептуры исследуемого продукта. На все вырабатываемые виды консервов существуют нормы расхода сырья и вспомогательных материалов. Такие нормы устанавливают исходя из рецептур, некоторых показателей ТНПА (в том числе технических условий), а также из норм отходов и потерь при использовании сырья и материалов.

Так, при переработке рыбного сырья в отходы идут рыбы головы, хвосты, внутренности, плавники и т.д. Таким образом, нормы расхода сырья и материалов на готовую продукцию состоят из непосредственного количества сырья и материалов, предусмотренных рецептурой, а также отходов и потерь в процессе их переработки.

В консервной промышленности для учета готовой продукции в учетных единицах приняты два вида условной банки: объемная и массовая. За условную объемную банку принимают жестяную банку № 8 вместимостью 353 см^3 , а за массовую банку – массу продукта, равную 400 г.

В объемных условных банках учитывают все виды консервов, выработанных из фруктов, овощей, мяса, рыбы, молока. В массовых банках учитывают варенье, джем, повидло, желе, маринады, фруктовые и овощные соки, соусы и пюре.

Для перевода определенного числа физических банок в условные банки пользуются переводными коэффициентами (К), которые рассчитывают следующим образом:

– для определения числа объемных условных банок в той или иной таре необходимо полный объем этой тары разделить на 353 см^3 :

$$k = \frac{V_{\text{ф.б.}}}{V_{\text{у.б.}}}, \quad (6.1)$$

где $V_{\text{ф.б.}}$ – объем физической банки в см^3 ; $V_{\text{у.б.}}$ – объем условной банки (353 см^3);

– для определения числа массовых банок надо установленную массу продукта для каждого вида тары разделить на 400 г :

$$k = \frac{m_{\text{ф.б.}}}{m_{\text{у.б.}}}, \quad (6.2)$$

где $m_{\text{ф.б.}}$ – масса нетто продукта в физической банке, г; $m_{\text{у.б.}}$ – масса нетто продукта в условной банке (400 г).

Таким образом, для того чтобы перевести какое-то число физических банок в условные, необходимо это число умножить на переводной коэффициент, а чтобы перевести условные банки в физические, надо число условных банок разделить на переводной коэффициент. 1000 условных банок составляет тубу.

Для расчета норм расхода сырья и материалов на тубу находят массу нетто тубы ($M_{\text{н туб}}$, кг) по формуле:

$$M_{\text{нтуб}} = N_{\text{ф.б.}} \times M_{\text{ф.б.}}, \quad (6.3)$$

где $N_{\text{ф.б.}}$ – количество физических банок в 1 туб, шт.; $M_{\text{ф.б.}}$ – масса нетто физической банки, кг.

Количество физических банок ($N_{\text{ф.б.}}$) в 1 туб, определяется по формуле:

$$N_{\text{ф.б.}} = \frac{N_{\text{у.б.}}}{k}, \quad (6.4)$$

где $N_{\text{у.б.}}$ – количество условных банок в 1 туб, шт.; k – коэффициент пересчета.

Поскольку 1 туб – 1000 условных банок, формулу (6.4) можно записать как:

$$N_{\text{ф.б.}} = \frac{1000}{k} \quad (6.5)$$

Норму расхода сырья или полуфабрикатов при производстве консервов на 1 туб можно определить по формуле:

$$T_{\text{туб}} = \frac{S \times 100}{V_p} \times 1000, \quad (6.6)$$

где T – норма расхода сырья или полуфабриката на 1 туб, кг; S – норма закладки полуфабриката или сырья на учетную банку, кг; V_p – норма выхода расфасованного полуфабриката или сырья к первоначальной массе, %;

Например, если норма закладки обжаренной сельди на 1 условную банку составляет 210 г, а норма выхода фасованного рыбного полуфабриката составляет к первоначальной массе 52,6 %, то расход сырья составит:

$$T_{\text{туб}} = \frac{0,210 \times 100}{52,6} \times 1000 = 399 \text{ кг}$$

Для расчета нормы расхода в кг/т или в кг/туб, если известен процент отходов, используют формулу:

$$T = \frac{S \times 100}{100 - p}, \quad (6.7)$$

где S – норма закладки полуфабрикатов или сырья в кг/т или кг/туб; p – суммарные отходы и потери при переработке сырья или полуфабриката, %.

Однако не всегда полученные проценты отходов можно суммировать.

В случае, если известен процент отходов на каждой из технологических операций, формула (1) преобразуется следующим образом:

$$T = \frac{S \times 100^n}{(100 - p_1) (100 - p_2) (100 - p_n)}, \quad (6.8)$$

где p_1 , p_2 и p_n – отходы и потери к массе сырья, поступивших на технологическую операцию, %.

Таким образом, можно рассчитать норму расхода сырья в кг на 1000 учетных банок (туб) консервов в соответствии с формулой (6.8), исходя из количества отходов по каждой технологической операции.

Формулы (6.7) и (6.8) применимы и для расчета расхода вспомогательных материалов, а также консервной тары, например, жестяных или стеклянных банок. В случае расчета

потребности предприятия в таре процент отходов заменяют на проценты брака жестяной тары либо проценты боя и щербления стеклянной тары и т.д.

Пересчет пооперационных потерь или отходов на любой операции технологического процесса к весу сырья, направленного на обработку, производят по формуле:

$$p_i = \frac{(100 - \sum p_{пр}) \times p_d}{100}, \quad (6.9)$$

где p_i – потери (отходы) на данной операции в % к весу сырья, направленного на обработку; $\sum p_{пр}$ – сумма отходов и потерь на предыдущих операциях, в % к весу сырья, направленного в обработку; p_d – потери (отходы) на данной операции в % к весу рыбы (полуфабриката), поступившей на операцию.

Вместе с тем, рассчитанные в кг/т (T_T) нормы расхода можно перевести в нормы расхода, учитывающиеся в кг/туб ($T_{туб}$). Однако формулы пересчета для массовой условной банки и объемной условной банки различны.

Для массовой условной банки пересчет из кг/т (T_T) в кг/туб ($T_{туб}$) осуществляется по формуле:

$$T_{туб} = \frac{T_T}{2,5}, \quad (6.10)$$

Формула пересчета из кг/т (T_T) в кг/туб ($T_{туб}$) для объемной условной банки имеет другой вид:

$$T_{туб} = \frac{T_T \times M_{ф.б.}}{K}, \quad (6.11)$$

При этом, зная процент потерь (отходов) на каждой операции, можно рассчитать и выход полуфабриката на данной операции ($V_{п}$) к массе полуфабриката, поступившего на операцию:

$$V_{п} = \frac{V_{кг} \times 100}{M_{оп}}, \quad (6.12)$$

где $V_{кг}$ – выход полуфабриката на данной операции, кг; $M_{оп}$ – масса полуфабриката, направленного на данную операцию, кг.

И к массе направленного сырья:

$$V_{\Pi} = \frac{V_{\text{кг}} \times 100}{M}, \quad (6.13)$$

где M – масса сырья, направленная на обработку, кг.

В производственном процессе одно и то же сырье может расходоваться на различные виды консервов. В этом случае не всегда получается произвести отдельное взвешивание сырья на каждый вид консервов. В таких случаях расход сырья определяется путем расчета группового ассортимента. При этом рассчитывают расход сырья на каждый вид продукции:

$$A_1 = \frac{A_{\text{общ.}} \times Q_1 \times T_1}{(Q_1 \times T_1 + Q_2 \times T_2 + \dots + Q_n \times T_n)}, \quad (6.14)$$

где A_1 – расход сырья на какой-то один вид продукции, кг; $A_{\text{общ.}}$ – общий расход сырья на все виды продукции, выработанные из данной партии, кг; $Q_1, Q_2 \dots Q_n$ – количество продукции, выработанной из данной партии сырья по каждому наименованию консервов, тыс. условных банок; $T_1, T_2 \dots T_n$ – норма расхода сырья на тысячу условных банок каждого наименования продукции, кг.

Одним из неотъемлемых компонентов консервов является поваренная соль. Способы расчета поваренной соли при производстве консервов зависят от производимых технологических операций. Соль может непосредственно добавляться с другими компонентами, например, при производстве заливок, соусов или использоваться для приготовления тузлучных растворов.

При непосредственной закладке поваренной соли норму расхода поваренной соли с учетом потерь рассчитывают по формуле 6.7.

При приготовлении растворов поваренной соли заданной концентрации концентрацию растворов поваренной соли можно выразить количеством граммов хлорида натрия в 100 г раствора (p) и количеством граммов хлорида натрия на 100 г воды (q). Связь между p и q следующая:

$$q = \frac{p \times 100}{100 - p} \quad (6.15)$$

$$p = \frac{q \times 100}{100 + q} \quad (6.16)$$

Если требуется приготовить раствор поваренной соли из некоторого количества (кг) воды (В) и некоторого количества (кг) соли (к) концентрацией p %, пользуются формулой:

$$k = \frac{B \times p}{100 - p} \quad (6.17)$$

Количество соли, перешедшей из раствора в ткань рыбы при выдерживании в тузлуке определяют химическими испытаниями, а расход ее за счет слива отработанного тузлука увеличивают в 3 – 4 раза. Для расчета нормы расхода соли на 1 туб консервов пользуются формулой:

$$T_{\text{соля}} = M_p \times C \times 3/100, \quad (6.18)$$

где M_p – масса рыбы после засола, которую находят исходя из данных движения рыбы по операциям на 1 туб; C – содержание соли в рыбе по данным химического анализа, %.

Пример 6.1 Расчет рыбных консервов в томатном соусе.

Для примера расчета возьмем рецептуру консервов «Сельдь, обжаренная в томатном соусе»

Таблица 6.1 – Рецептура консервов на 1 туб

Компоненты	В %	В кг
Рыба обжаренная	60	210
Томатный соус	40	140
Всего	100	350
Томатный соус		
Томат-паста 30%	27,86	39
Вода	51,25	71,76
Сахар	10,72	15
Лук обжаренный	5,50	7,7
Масло растительное	3,57	5
Уксусная кислота 80%	0,93	1,30
Перец горький	0,17	
Всего	100	140

Потери и отходы при переработке сельди атлантической составляют 35 % к первоначальной массе сырья и 18 % к массе разделанной и засоленной рыбы.

Выход фасованной рыбы составляет к первоначальной массе 52,6 %.

Рассчитаем нормы расхода сельди, для этого воспользуемся формулой (6.8):

$$T_p = 210 \times 100^2 / (100 - 35) \times (100 - 18) = 399 \text{ кг}$$

Обжарка рыбы при производстве консервов сопровождается технологической операцией – панировкой в муке, что обеспечивает привес рыбы.

Таблица 6.2 – Движение рыбы по операциям

Технологическая операция	Исходная масса, кг	Потери и отходы		
		% к исходной массе	% к массе рыбы, поступающей на операцию	кг
Дефростация и мойка	1596	2	-	31,9
Разделка, очистка и мойка	1564,1	30,5	-	486,8
Порционирование и мойка	1077,3	1	-	16
Посол	1061,3	1,5	-	23,9
Панировка	1037,4	-	+3	32
Обжарка и охлаждение	1068,5	-	20	212
Фасовка	857,2	-	2	17,2
Укладка в банки	840	-	-	-
Выход: туб физические банки № 3	$840/210 = 4$ $4000/0,707 = 5800$			

Пользуясь формулой (1) и принимая потери томатного соуса при варке и фасовке в размере 5 %, рассчитаем нормы расхода на 1 туб сырья, входящего в состав соуса: томат-пасты, сахара, лука обжаренного, уксусной кислоты и

пряностей. Норма расхода томатной пасты на 1 туб консервов:

$$T_{\text{паста}} = 39 \times 100 / (100 - 5) = 41 \text{ кг}$$

Как видно из рецептуры, в состав томатного соуса соль не входит. Для производства данных консервов разделанную рыбу предварительно засаливают в тузлуке. При этом тузлук периодически обновляют.

В данном случае:

$$T_{\text{соль}} = 259 \times 3 \times 3 / 100 = 23 \text{ кг}$$

Растительное масло в рыбные консервы поступает двумя путями: 1) масло, впитавшееся в ткани рыбы при обжарке; 2) масло, добавляемое в томатный соус. Норму расхода можно рассчитать по формуле:

$$T_m = M_{\text{обж}} \times m_1 / (100 - n_1) + m_2 \times 100 / (100 - n_2)$$

где $M_{\text{обж}}$ – масса обжаренной рыбы, закладываемой в 1 туб, кг; m_1 – содержание растительного масла в обжаренной рыбе, %; n_1 – потери масла при обжарке, %; m_2 – масса масла в томатном соусе по рецептуре на 1 туб, кг; n_2 – потери масла с томатным соусом, %.

$$T_m = 210 \times 8 / (100 - 6) + 5 \times 100 / (100 - 5) = 23 \text{ кг}$$

Практические задания

1. Перевести в условные банки 8 тыс. жестяных банок № 19 (Приложение В) консервов «Сардины в масле». Масса нетто продукта 230 г.

2. Рассчитать массу нетто тубы рыбных консервов, если известно, что консервы фасованы в жестяные банки № 32 (Приложение В), а масса нетто продукта составляет 315 г.

3. Рассчитать норму расхода рыбы на производство 1 туб консервов, если известно, что норма закладки рыбы составляет 421 кг/туб, а суммарные потери на технологических операциях - 34%.

4. Цех выработал 80 туб рыбных консервов в стеклянных банках I – 82 – 500 и имел брак тары (щербление и бой): пустой (на сортировке, мойке и шпарке) – 0,8 %; наполненной (на фасовке и укупорке) – 0,2 %, в процессе стерилизации консервов – 0,15 %. Рассчитать, какое количество стеклянных банок израсходовал цех.

5. Рассчитать нормы расхода рыбы и растительного масла при производстве консервов «Шпроты в масле» из салаки балтийской на 1 туб.

Рецептура консервов следующая:

Рыба после термической обработки 280 кг

Масло растительное 70 кг

Потери и отходы при переработке рыбы составили 3,5 % к первоначальной массе сырья, 35,7 % к массе засоленной рыбы и 22 % к массе копченой рыбы.

Потери масла растительного – 3 %.

6. Цех израсходовал за смену 1 т подсолнечного рафинированного масла на выработку 25 туб консервов «Судак в томатном соусе» при норме расхода масла 22 кг и 5 туб консервов «Кефаль в масле», при норме расхода масла 85 кг на 1000 условных банок. Определить фактический расход масла на каждый вид консервов и сопоставить его с расходом по нормам.

7. Какое количество поваренной соли необходимо добавить к 200 кг воды, чтобы получить 20 % раствор.

8. Рассчитать норму расхода поваренной соли для приготовления 15 % раствора, если известно, что потери соли на данной операции составили 0,3 %. Количество воды для приготовления раствора составило 240 кг.

9. Рассчитать, сколько поваренной соли должно содержаться в копченой рыбе при приготовлении шпрот в масле для того, чтобы в готовом продукте было 1,4 % соли. Массовая доля рыбы – 74 %, масла – 26 %.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ

Цель: Освоить методику расчета качественных показателей процесса стерилизации

Стерилизация – общий термин, обозначающий тепловую обработку консервов с целью уничтожения микроорганизмов при любых температурах. При этом различают собственно стерилизацию (тепловая обработка консервов при температуре выше 100°C), пастеризацию (тепловая обработка консервов при температуре ниже 100°C), тиндализацию, субстерилизацию.

В более узком смысле стерилизация – процесс термической обработки консервов, обеспечивающий полную гибель нетермостойких неспорообразующих микроорганизмов и снижения количества спорообразующих микроорганизмов до определенного уровня, достаточного для предотвращения порчи продукта при температурах умеренного климата ($15,1\dots30^{\circ}\text{C}$). Процесс стерилизации обеспечивает безопасность консервов по микробиологическим показателям в течение всего срока годности консервов.

Пастеризацию проводят с целью уничтожения дрожжей, плесневых грибов и вегетативных форм бактерий. Вместе с тем, процесс пастеризации недостаточен для гибели спор бактерий.

Процесс стерилизации может быть повторным (тиндализация). Тиндализация заключается в двух- или трехкратной стерилизации с интервалами в 20-28 часов. В процессе тиндализации консервы стерилизуют либо при необходимой температуре, но в течение небольшого промежутка времени, либо в течение необходимого промежутка времени, но при меньшей температуре. Такая стерилизация позволяет придать продукту лучшие органолептические характеристики, напри-

мер, способствует сохранению нежной консистенции продукта.

Субстерилизация – частный случай стерилизации, т.е. термическая обработка продукта, обеспечивающая гибель нетермостойкой неспорообразующей микрофлоры и уменьшающая количество споровых микроорганизмов с целью гарантирования предотвращения порчи продукта при температурах от 2 до 15°C и безопасность употребления его в пищу в течение ограниченного времени. Продукты, обработанные по такому режиму, называют «полуконсервы», если температура их хранения составляет от 0°C до 5°C или « $\frac{3}{4}$ консервы», если температура хранения не выше 15°C.

Основными параметрами, характеризующими процесс стерилизации, являются температура и время (продолжительность стерилизации). Поскольку эти два параметра определяют гибель микроорганизмов, их называют еще и микробиологическими. Время, необходимое для уничтожения микроорганизмов при данной температуре называют смертельным или летальным. Смертельное время зависит от следующих факторов: температуры стерилизации, химического состава консервов, вида микроорганизмов и их количества. Вместе с тем, в процессе стерилизации необходимо обеспечить прогрев центра банки до заданной температуры с целью обеспечения гибели микроорганизмов во всем продукте, так как в центральных слоях консервов в случае плохой их прогреваемости могут сохраняться микроорганизмы. Для этого необходимо учитывать и теплофизические составляющие процесса стерилизации, а именно: факторы, влияющие на проникновение теплоты в глубь продукта. К ним относятся: физические свойства продукта; физические свойства материала тары, толщина стенки банки и ее геометрические размеры; начальная и конечная температуры продукта; температура стерилизации; состояние покоя или движения банки во время стерилизации. Таким образом, требуется дополнительное время для прогрева центральной части банки до заданной температуры. Поэтому, говоря о смертельном времени, име-

ют в виду смертельное время, необходимое для гибели микробных клеток, находящихся в центральной части банки. В связи с этим, общее время стерилизации является функцией от времени прогрева и смертельного времени ($\tau_{\text{общ}} = f(\tau_{\text{прогрева}}, \tau_{\text{см.времени}})$). Значительное влияние на развитие в продукте тех или иных микроорганизмов оказывает активная кислотность среды (рН). Критерием оценки степени кислотности тех или иных продуктов является реакция на рН самого опасного для здоровья человека возбудителя порчи *Cl.botulinum*.

В зависимости от состава консервированного продукта, величины активной кислотности и содержания сухих веществ, все консервированные продукты делят на 6 групп:

группа «А» – консервированные пищевые продукты, имеющие рН 4,2 и выше, а также овощные, мясные, мясо-растительные, рыбо-растительные и рыбные консервированные продукты с нелимитированной кислотностью, приготовленные без добавления кислоты;

группа «Б» – консервированные томатопродукты;

группа «В» – консервированные слабокислые маринады и другие продукты, имеющие рН 3,7...4,2;

группа «Г» – овощные консервы с рН ниже 3,7, фруктовые и плодово-ягодные пастеризованные консервы для общественного питания с сорбиновой кислотой и рН ниже 4,2;

группа «Д» – пастеризованные мясные (шпик, соленый и копченый бекон, сосиски, ветчина и др.), мясо-растительные, рыбные и рыбо-растительные консервированные продукты;

группа «Е» – пастеризованные газированные фруктовые соки и газированные фруктовые напитки с рН 3,7 и ниже.

Таким образом, рыбные консервы относят к двум группам А и Д. Более подробно данные группы рыбных консервов представлены следующим образом:

Группа «А». Стерилизованные продукты, имеющие рН 4,2 и выше, – рыбные, рыбо-растительные консервы и консервы из морепродуктов с нелимитированной кислотностью:

1. Рыбные консервы с предварительной тепловой обработкой рыбы и овощей (в томатном соусе, в масле, бульоне, масляно-томатном соусе, рыба-растительные);

2. Рыбные консервы без предварительной тепловой обработки рыбы или овощей (в томатном соусе, рыба-растительные в томатном соусе, натуральные, натуральные с добавлением масла и желе, супы рыбные, уха);

3. Фарши, пудинги, паштеты, рыба-растительные фаршевые: с предварительной тепловой обработкой рыбы; без предварительной тепловой обработки рыбы; паштеты из копченой рыбы;

4. Консервы из морепродуктов: из морских беспозвоночных; крабов; морских водорослей и трав;

5. Консервы из рыбы и морепродуктов для питания детей младшего возраста;

6. Консервы из рыбы и морепродуктов диетического питания.

Группа «Д» Пастеризованные консервы из гидробионтов (полуконсервы), имеющие рН 4,2 и выше с нелимитированной кислотностью, прошедшие тепловую обработку при температуре ниже 100⁰С:

1. Консервы на основе рыбного фарша (типа ветчины, паштетов, пудингов): без предварительной тепловой обработки; с предварительной тепловой обработкой;

2. Консервы из формованных фаршевых изделий с предварительной тепловой обработкой; без соусов и заливок; с соусами, заливками и гарнирами;

3. Консервы из филе, филе-кусочков, прошедших тепловую обработку: без соусов и заливок; с соусами, заливками и гарниром;

4. Консервы из морских беспозвоночных, морских водорослей и трав.

Процесс стерилизации описывает формула стерилизации, которая имеет вид:

$$\frac{A - B - C}{T, ^\circ\text{C}}, \quad (7.1)$$

где A – время, необходимое для равномерного прогрева автоклава до заданной температуры $T^{\circ}\text{C}$; B – время выдерживания консервов при заданной температуре $T^{\circ}\text{C}$; C – время равномерного охлаждения автоклава; T – температура стерилизации, $^{\circ}\text{C}$.

Заданные параметры стерилизации зависят от рода сырья, состава рецептуры, вида и размера тары, вида используемого оборудования и теплоносителя.

Режим стерилизации устанавливают на основании экспериментальных данных, полученных в ходе стерилизации банок с консервами, зараженными тест-культурой микроорганизмов, а также по результатам проведения предварительных производственных испытаний по стерилизации опытных партий консервов.

При разработке режима стерилизации учитывают:

- термоустойчивость микроорганизмов, представляющих опасность для здоровья потребителя;
- величину водородного показателя и рецептуру консервируемого продукта;
- изменение температуры продукта во время стерилизации консервов;
- влияние давления внутри банок во время стерилизации;
- влияние нагревания на органолептические свойства и пищевую ценность консервов.

Выбор тех или иных параметров стерилизации определяется, в первую очередь, минимальным термическим режимом, т.е. термической обработкой, проводимой в течение определенного времени при заданной температуре и гарантирующей гибель возбудителей ботулизма. При этом гибель спор ботулизма должна быть 100 %. Зависимость «смертельное время – температура», по данным Эсти и Мейера, для отмирания спор *Cl.botulinum* показана в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Зависимость «смертельное время– температура» для отмирания спор *Cl.botulinum*

Температура, °С	100	105	110	115	120
Время, мин.	330	100	32	10	4

Как видно из таблицы 7.1, небольшое увеличение температуры стерилизации существенно снижает время, требующееся для отмирания микроорганизмов. Вместе с тем, с одной стороны, повышение температуры стерилизации способствует ухудшению органолептических показателей и пищевой ценности консервов. С другой стороны, режим стерилизации можно подобрать так, чтобы повышение температуры стерилизации не приводило к ухудшению их органолептических показателей и пищевой ценности консервов.

В то же время, уничтожить все микроорганизмы в консервированных продуктах не представляется возможным. Это связано с логарифмическим характером гибели микроорганизмов, поэтому всегда сохраняется возможность выживаемости небольшого числа спор в процессе стерилизации, т.е. нельзя говорить о полной стерильности консервов. А это, в свою очередь, приводит к проблеме выживаемости спор *Cl.botulinum* в консервированных продуктах. В свое время, данная проблема была решена следующим образом. Было принято, что жесткость процесса стерилизации в отношении *Cl.botulinum* выбирается исходя из допущения выживаемости 1 споры *Cl.botulinum* на 10^{12} консервных банок. Поскольку такое количество банок консервов выпустить невозможно, следовательно, в партии консервов, количество банок в которой меньше чем 10^{12} банок, не должно быть ни одной банки, в которых могла бы выжить хотя бы 1 спора *Cl.botulinum*.

Расчет летального времени, необходимого для достижения определенного уровня стерильности, производится по формуле:

$$\tau = D \lg \frac{N_0}{N_k} \quad (7.2)$$

N_0 – количество микроорганизмов в начальный момент стерилизации; N_k – количество микроорганизмов к концу стерилизации; D – константа термоустойчивости, которая по сути является временем, необходимым для снижения количества микроорганизмов в 10 раз (D называют также временем, необходимым для уничтожения 90 % микроорганизмов). Чем больше значение D , тем более устойчивыми являются микроорганизмы к температурному фактору.

Таблица 7.2 – Значение константы D при 121,1 °С, для различных видов рыбных консервов для *Cl. sporogenes*

Наименование	Константа D при 121,1 °С, мин
для <i>Cl. sporogenes</i>	
Буферный раствор с pH = 7	0,62 – 1,52
Рыбные консервы в масле	0,71 – 0,95
Рыбные консервы натуральные	0,60 – 0,76
Рыбные консервы в томатном соусе	0,43 – 0,60

Выражение (7.2) можно переписать также следующим образом:

$$\tau = D(\lg N_0 - \lg N_k) \quad (7.3)$$

Тогда выражение для определения количества микроорганизмов в конце стерилизации N_k имеет вид:

$$\lg N_k = \lg N_0 - \frac{\tau}{D} \quad (7.4)$$

Пример 7.1 Предположим, что $N_0 = 1$ млн. спор, $N_k = 100$, константа D при данных условиях составляет 4 мин. Сколько времени потребуется для снижения числа спор с 1 млн. до 100?

Расчет произведем по формуле:

$$\tau = D(\lg N_0 - \lg N_k) = 4(\lg 10^6 - \lg 10^2) = 16 \text{ мин.}$$

Какое количество микроорганизмов можно ожидать спустя 40 мин. стерилизации, если их начальное количество составляло 1 млн.?

$$\lg N_k = \lg 10^6 - \frac{40}{4} = -4,$$

откуда $N_k = 10^{-4} = 0,0001$ споры.

Вместе с тем, соотношение $\lg \frac{N_0}{N_k}$ называется степенью стерильности и обозначается n . Таким образом,

$$\tau = D \times n \quad (7.5)$$

С учетом того что количество жизнеспособных спор в конце процесса стерилизации должно быть минимально, величина N_k должна быть очень мала и может быть представлена как $N_k = 10^{-a}$, следовательно, степень стерильности можно выразить следующей формулой:

$$n = \lg \frac{N_0}{10^{-a}} = \lg N_0 + a \quad \text{или} \quad n = a + \lg N_0 \quad (7.6)$$

Вместе с тем, так же как нельзя говорить о полной стерильности консервов, нельзя говорить и о смертельном времени в абсолютном понимании, т.е. как о времени полного уничтожения микроорганизмов. Смертельным временем можно лишь назвать время, требующееся для достижения какой-то степени стерильности (более или менее высокой), т.е. для доведения первоначального количества микроорганизмов до какого-то заранее установленного и очень низкого уровня.

F-эффектом или летальностью данного режима стерилизации называется продолжительность некоторого воображаемого стационарного режима тепловой обработки, эквивалентного по действию на микроорганизмы данному реальному нестационарному режиму стерилизации, проводимому в переменном температурном поле, при условии, что содержимое банки немедленно, с самого начала процесса, нагревается до $121,1^{\circ}\text{C}$ (для режимов пастеризации до 80°C), выдерживается при этой температуре в течение F мин., после чего немедленно охлаждается до сублетальной температуры. Таким образом, F-эффект, или летальность процесса стерилизации, измеряется в условных 121-градусных минутах. Поэтому знание необходимого времени воздействия на микроорганизм для его уничтожения при $121,1^{\circ}\text{C}$ позволяет характеризовать

режим стерилизации одним числом, сравнение которого с нормативными значениями F-эффекта дает возможность получить количественное суждение об эффективности данного режима в отношении достигнутой степени стерильности консервов.

Для того чтобы получить F-эффект 121,1-градусного времени, необходимо данное время умножить на выражение $\frac{1}{10^{\frac{121,1-T}{Z}}}$, которое называют переводным коэффициентом K_F , ибо оно «переводит» время действия на микроорганизмы при любой данной температуре T_d на эквивалентное по действию 121,1-градусное время F.

В приложении Г приведен полный перечень переводных коэффициентов K_F для константы термоустойчивости $Z = 10^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от 90°C до 130°C , с точностью до $0,5^\circ\text{C}$.

Если в уравнение (7.5) подставить значение D для температуры $121,1^\circ\text{C}$, то определяемое по данной формуле время является F-временем, т.е. той летальностью процесса, которая необходима для практического обеспечения данного режима стерилизации консервов:

$$F = D_{121,1} \times n \quad (7.7)$$

Поскольку величина D является константой, следовательно, расчет требуемой летальности сводится к определению необходимой степени стерильности.

Расчет смертельного времени, соответствующего любой данной температуре в некоторой точке T_d , производят по формуле:

$$y = \tau \times 10^{\frac{T_э - T_d}{Z}} \quad (7.8)$$

где y – смертельное время, соответствующее любой данной температуре в точке T_d , мин.; τ – смертельное время, соответствующее «эталонной», заранее обусловленной температурой $T_э$, мин.; $T_э$ – «эталонная», заранее обусловленная температура; T_d – температура стерилизации, отличная от эталонной; Z – разность температур за один логарифмиче-

ский цикл или же число градусов, на которое нужно повысить температуру стерилизации, чтобы смертельное время уменьшилось в 10 раз, $^{\circ}\text{C}$. Чем больше величина Z , тем меньшее влияние оказывает повышение температуры на скорость отмирания микроорганизмов. В случае отсутствия экспериментальных данных для влажного нагрева принимают следующие значения величины Z : для спор мезофильных микроорганизмов составляет 10°C ; термофильных бактерий – 12°C ; вегетативных клеток бактерий, дрожжей, конидий грибов – 5°C .

Использование данной формулы наглядно показывает, как изменяется продолжительность стерилизации с повышением или понижением температуры стерилизации.

Пример 7.2 Смертельное время для отдельных микроорганизмов при температуре 130°C равно 5 мин., $Z = 10^{\circ}\text{C}$. Определить продолжительность стерилизации процесса при повышении температуры до 110°C .

Решение: Используя формулу (7.8), рассчитаем:

$$y = 5 \times 10^{\frac{130-110}{10}} = 5 \times 10^2 = 500 \text{ мин}$$

Таким образом, понижение температуры стерилизации всего на 20°C способствовало увеличению смертельного времени в 100 раз.

Как было указано выше, для того чтобы прогреть продукт до температуры стерилизации, требуется некий промежуток времени. Величина, характеризующая время, в течение которого необходимо прогреть продукт, чтобы разность температур между аппаратом и продуктом сократилась в 10 раз, называется константой термической инерции и обозначается f_n . Отсюда:

$$\tau = f_n \lg \frac{T_a - T_n}{T_a - T_k}, \quad (7.9)$$

τ – время прогрева до заданной температуры стерилизации; T_a – температура стерилизации (температура аппарата, при которой осуществляется процесс стерилизации); T_n – температура продукта в начале процесса стерилизации; T_k –

наивысшая температура, достигаемая при прогревании в глубине продукта.

Практические задания

1. Рыбные консервы стерилизуют в течение 40 мин. при температуре 120°C , при этом время прогрева автоклава до заданной температуры стерилизации составляет 20 мин., время охлаждения автоклава после стерилизации – 20 мин. Написать формулу стерилизации данных консервов.

2. Сравнить, как изменится смертельное время при повышении температуры стерилизации с 100°C до 115°C , если $Z = 10^{\circ}\text{C}$, смертельное время при температуре 100°C равно 3 мин.

3. Какое количество микроорганизмов можно ожидать спустя 30 мин. стерилизации, если их начальное количество составляло 1 млн.? Константа D при данных условиях составляет 3 мин.

4. Предположим, что количество спор бактерий до стерилизации составляет $N_0 = 1$ млрд., к концу процесса стерилизации количество спор необходимо снизить до $N_k = 10$, константа D при данных условиях составляет 5 мин. Сколько времени потребуется для снижения числа спор с 1 млрд. до 10?

5. Смертельное время для отдельных микроорганизмов при температуре 140°C равно 3 мин., $Z = 10^{\circ}\text{C}$. Определить продолжительность стерилизации процесса при повышении температуры до 120°C .

6. Рассчитать время достижения наивысшей температуры паштета рыбного в процессе стерилизации, если начальная температура продукта равна 50°C , наивысшая 110°C , стерилизация осуществляется в автоклаве при температуре 115°C , $f_n = 90$ мин.

7. Рассчитать, как изменится продолжительность тепловой обработки рыбных консервов в томатном соусе при увеличении температуры стерилизации (T_a) с 115°C до 120°C .

Начальная температура (T_n) составляет 50°C , наивысшая температура (T_k) – 112°C , константа термической инерции $fn = 50$ мин.

8. Рассчитать значение константы термической инерции рыбных консервов в масле, если известно, что время прогрева до заданной температуры стерилизации составляет 116 мин., начальная температура продукта составляет 50°C , наивысшая 112°C , стерилизация осуществляется в автоклаве при температуре 115°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное пособие позволяет систематизировать знания студентов специализации «Технология переработки рыбной продукции», расширяет их кругозор, позволяет изучить на практических и лабораторных занятиях совокупность средств, способов и методов охлаждения и теплового консервирования рыбы и гидробионтов. Проведение студентами самостоятельных расчетов способствует закреплению учебного материала, контакты с преподавателем в процессе обучения позволяют уточнить отдельные аспекты, затрагиваемые в данном учебно-методическом пособии.

Строгая регламентация производственной деятельности, грамотное и пунктуальное соблюдение технологических параметров в процессе производства, подготовки и хранения сырья позволяет получать качественные продукты питания, удовлетворяющие высоким требованиям. Эффективное управление технологическими процессами требует обширных знаний по свойствам используемого сырья, понятий физико-химической основы производственных операций. Ассортимент сырья отличается большим разнообразием и требует усвоения значительного объема информации по каждому его виду. Систематизация, детализация и конкретизация производственного процесса способствует закреплению учебного материала. Каждый инженер-технолог, специалист в области переработки рыбы и гидробионтов, должен знать технологические параметры производственных процессов и операций, контролировать их соблюдение, своевременно устранять и препятствовать возникновению сбоев в работе. Постоянное обновление технологического оборудования и внедрение новейших технологий, а также выпуск новых видов товарной продукции требует использования в научно-методических разработках последних технических и научно-исследовательских достижений.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А 1– Удельная теплоемкость
мяса и филе рыбы

Рыба	W, %	c, Дж/(кг×К)
Треска (филе)	78,0	3434
	80,0	3517
	80,9	3726
	80,3	3660
Пикша (филе)	78,0	3434
	80,0	3517
Сельдь жирная	83,6	3684
Сазан	78,1	3685
	78,0	3726
Судак	77,0	3810
	78,4	3538
Морской окунь	79,1	3600
Окунь (филе)	80,0	3517
Мерлин (филе)	82,0	3601
Сайда (филе)	79,0	3475

Таблица А 2 – Удельная теплоемкость мяса и филе рыбы

Рыба	T, К	W, %	Ж, %	c, Дж/(кг×К)
Треска (филе)	–	80,9	0,3	3714
Сазан (спинка)	–	74,4	19,4	3659
Осетр (спинка)	–	70,8	30,9	3643
Судак	273–298	76,8	1,0	3798
Рыба тощая (судак)	–	–	–	3517
Рыба жирная (севрюга)	273 – 298	–	–	3417

Таблица А 3 – Удельная теплоемкость мяса рыбы при T =275 – 291 К

T, К	c, Дж/(кг×К)			T, К	c, Дж/(кг×К) сом (W=78,1)%
	пикша (W=83,6%)	треска (W=80,3)%	морской окунь (W=79,1)%		
275	3684	3642	3601	277,4	3433
279	3684	3642	3601	283,1	3433
283	3726	3684	3601	288,5	3433
287	3726	3684	3601	–	–
291	3726	3684	3601	–	–

Таблица А 4 – Плотность рыбы при $T = 288 \text{ K}$

Сельдь	масса, г	390	470	534	582	623	662	674	726
	ρ , кг/м ³	1109	1082	1061	1073	1083	1067	1078	1066
Лещ	масса, г	386	429	487	520	568	638	726	811
	ρ , кг/м ³	1021	1026	1015	1032	1033	1022	1007	1020

Таблица А 5 – Плотность судака при $T = 288 \text{ K}$

Сельдь	масса, г	350	500	1800	3400
	ρ , кг/м ³	996	987	984	955

Таблица А 6 – Плотность зеркального карпа ρ
(в кг/м³) при $T = 288 \text{ K}$

Масса, г	Состояние рыбы		
	Живая	В покое	Оглушенная
228	1037	–	1002
231	1011	1003	1001
369	997 – 987	–	1002

Таблица А 7 – Коэффициент теплопроводности мяса рыбы

Рыба	W, %	T, K	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м×К)
Треска	–	275	–	0,54
	–	274	–	0,46
	–	274	–	0,47
	–	293	–	0,47
	77	–	1043	0,45
Судак	80	273 – 288	1070	0,52
	–	274	–	0,43
	76	273 – 288	1045	0,47
Пикша	–	274	–	0,47
Лещ	–	274	–	0,47
Осетр	74,1	–	1040	0,43
Мойва	–	273 – 288	–	0,46
Сазан	75,2	273	1047	0,44
Лосось	–	273 – 288	–	0,46
Тунец	–	273	–	0,50
	–	–	–	0,58

Таблица А 8 – Коэффициент теплопроводности мяса рыбы

Рыба	W, %	Ж, %	λ , Вт/(м×К)
Тунец	73,01	0,17	0,44
Акула	70,59	4,28	0,39
Желтый хвост	55,14	11,11	0,31

Таблица А 9 – Коэффициент температуропроводности
мяса сазана

Часть тела рыбы	W, %	Ж, %	ρ , кг/м ³	$a \times 10^8$, м ² /с
Спинка	75,2	8,61	1046	11,67
	73,8	10,78	1052	11,00
	77,8	12,76	1047	11,39
Брюшная часть	73,5	15,90	1049	10,97

Таблица А 10 – Коэффициент температуропроводности мяса

Рыба	W, %	Ж, %	T, К	$a \times 10^8$, м ² /с
Треска	–	–	274	13,1
	77,5	0,3	273 – 298	11,8
Судак	–	–	274	12,5
	76,1	0,9	273 – 298	12,0
	–	–	274	13,9
Лещ	77,1	8,0	273 – 298	11,6
Осетр	74,1	12,58	273 – 298	11,28
Карп	–	–	274	13,7
Некото- рые виды дальне- восточ- ных рыб	81	0,13 – 11,5	293	13,0

Таблица А 11 – Коэффициент температуропроводности
 мяса рыбы $a \times 10^8$, (в m^2/c) при $T = 273 - 285 K$

Рыба	Плотность, ρ , kg/m^3			
	1045	1050	1055	1060
Сазан	12,1	11,6	11,1	10,7
Судак	12,0	11,1	10,7	–

Таблица А 12 – Теплофизические характеристики
 мяса рыбы

Рыба	T, K	W, %	ρ , kg/m^3	c , Дж/(кг×К)	λ , Вт/(м×К)	$a \times 10^8, m^2/c$
Треска	289	–	992	3684	0,54	14,4
	293	80	1020	3684	0,46	12,1
	–	83	997	3684	0,54	14,7
	293	–	1052	3726	0,45	11,7
Лосось	–	73	980	3517	0,50	14,4
Судак	274	–	1070	3226	0,43	12,5
	273	80	1070	3475	0,52	14,0
	293	–	1064	3810	0,47	12,0
Сазан	293	–	1060	3864	0,44	11,3
Осетр	293	–	1059	3643	0,43	11,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б 1 – Теплофизические характеристики
ВОДЫ И ЛЬДА

Характеристика	Вода	Лед
Удельная теплоемкость $C, \text{кДж}/(\text{кг} \times \text{К})$	4,19	2,10
Теплопроводность λ , $\text{Вт}/(\text{м} \times \text{К})$	0,554	2,210
Температуропроводность $a \times 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	13	17
Плотность $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	999,5	916,2

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В 1 – Характеристика отдельных
жестяных банок

Номер банки	Вид банки	Объем, см^3
16	III	101,0
30	IV	106,0
17	III	159,0
29	III	218,0
19	IV	235,0
31	V	230,0
18	III	245,0
32	III	320,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г 1 – Перечень переводных коэффициентов
для константы термоустойчивости $Z = 10^0\text{C}$ в диапазоне
температур от 90 до 130^0C

$^{\circ}T, C$	K_F	$^{\circ}T, C$	K_F	$^{\circ}T, C$	K_F	$^{\circ}T, C$	K_F
90,0	0,0008	100,5	0,0087	111,0	0,098	121,5	1,10
90,5	0,0009	101,0	0,0098	111,5	0,109	122,0	1,23
91,0	0,0010	101,5	0,0109	112,0	0,123	122,5	1,38
91,5	0,0011	102,0	0,0123	112,5	0,138	123,0	1,55
92,0	0,0012	102,5	0,0138	113,0	0,155	123,5	1,74
92,5	0,0014	103,0	0,0155	113,5	0,174	124,0	1,95
93,0	0,0015	103,5	0,0174	114,0	0,195	124,5	2,19
93,5	0,0017	104,0	0,0195	114,5	0,219	125,0	2,46
94,0	0,0019	104,5	0,0219	115,0	0,246	125,5	2,76
94,5	0,0022	105,0	0,0246	115,5	0,276	126,0	3,09
95,0	0,0025	105,5	0,0276	116,0	0,309	126,5	3,46
95,5	0,0028	106,0	0,0309	116,5	0,346	127,0	3,89
96,0	0,0031	106,5	0,0346	117,0	0,390	127,5	4,37
96,5	0,0035	107,0	0,0390	117,5	0,437	128,0	4,90
97,0	0,0039	107,5	0,0437	118,0	0,490	128,5	5,50
97,5	0,0044	108,0	0,0490	118,5	0,550	129,0	6,18
98,0	0,0049	108,5	0,0550	119,0	0,618	129,5	6,92
98,5	0,0055	109,0	0,0618	119,5	0,690	130,0	7,75
99,0	0,0062	109,5	0,0690	120,0	0,775		
99,5	0,0069	110,0	0,0775	120,5	0,872		
100,0	0,0078	110,5	0,0872	121,0	0,978		

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабарин, В.П. Стерилизация консервов: справочник / В.П. Бабарин. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 312 с.
2. Барбаянов, К.А. Производство рыбных консервов / К.А. Барбаянов, К.П. Лемаринье. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 339 с.
3. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания / С.А. Большаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 304 с.
4. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / К.Дж. Валентас, Э. Ротштейн, Р.П. Сингл. – СПб.: Профессия, 2004. – 848с.
5. Воробьева, Н.Н. Теплофизические процессы в холодильной технологии / Н.Н. Воробьева. – К.: КТИПП, 2007. – 150 с.
6. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 288 с.
7. Головкин, Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов / Н.А. Головкин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.
8. Григорьев, А.А., Касьянов, Г.И. Введение в технологию отрасли. Технология рыбы и рыбных продуктов / А.А. Григорьев, Г.И. Касьянов. – М.: КолосС, 2008. – 112 с.
9. Касьянов, Г.И. Технология переработки рыбы и морепродуктов / Г.И. Касьянов, Е.Е. Иванова, А.Б. Одинцов, Н.А. Студенцева, М.В. Шалак. – Ростов-на-Дону: МарТ, 2001. – 413 с.
10. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / И.А. Рогов [и др.]. – 2-е изд. – М.: Колос, 1999. – 176 с.
11. Мещеряков, Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии / Ф.Е. Мещеряков. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 560 с.

12. Постольски, Я. Замораживание пищевых продуктов / Я. Постольски, З. Груда. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 607 с.
13. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.1. Теоретические основы консервирования / Куцакова В.Е. [и др.]. – М.: Колос, 2001. – 136 с.
14. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.2. Общая технология отрасли / Куцакова В.Е. [и др.]. – 2003. – 240 с.
15. Примеры расчетов по курсу «Холодильная техника» / Г.Д. Аверин, А.М. Бражников, А.И. Васильев, Н.Д. Малова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 183 с.
16. Рогов, И.А. Технология мяса и мясных продуктов. Кн. 2. Технология мясных продуктов / И.А. Рогов, А.Г. Забашта, Г.П. Казюлин. – М.: КолосС, 2009. – 567 с.
17. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Деннис. – СПб.: Профессия, 2004. – 496 с.
18. Технология рыбы и рыбных продуктов / под ред. А.М. Ершова. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 939 с.
19. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / под ред. Э.И. Каухчешвили. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.
20. Флауменбаум, Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 494 с.
21. Флауменбаум, Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А. Гришин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 494 с.
22. Фролов, С.В. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов / С.В. Фролов, В.Е. Куцакова, В.Я. Кипнис. – М.: Колос-Пресс, 2001. – 144 с.
23. Холодильная техника и технология / под ред. А.В. Рущкого. – М.: ИНФРА, 2000. – 286 с.
24. Цуранов, О.А. Холодильная техника и технология / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин. – СПб.: Лидер, 2004. – 448 с.

25. Чижов, Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г.Б. Чижов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 271 с.

26. Шалак, М.В. Технология переработки рыбной продукции / М.В. Шалак, М.С. Шашков, Р.П. Сидоренко. – Минск: Дизайн ПРО, 2001. – 239 с.

27. Шаршунов, В.А. Технологическое оборудование мясоперерабатывающих предприятий / В.А. Шаршунов, И.М. Кирик. – Минск: Мисанта, 2012. – 958 с.

28. Ястребов, С.М. Технологические расчеты по консервированию пищевых продуктов / С.М. Ястребов. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 200 с.

Учебное издание

Бубырь Ирина Валерьевна
Арбекова Юлия Анатольевна
Шумак Виктор Викторович

**Холодильная технология и технология теплового
консервирования гидробионтов**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *Пигаль П.Б.*

Корректор *Шрамук Т.Т.*
Компьютерный дизайн *Пресный А.А.*

Подписано в печать 27.11.2012 г. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Ризография.
Усл. печ. л. 3, 78. Уч.-изд. л. 2,09.
Тираж 50 экз. Заказ № 2178.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе
Полесского государственного университета
225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23.