

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

М. М. МАСЛІКОВ

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ

**КУРС ЛЕКЦІЙ
для студентів спеціальності 6.090500
“Холодильні машини і установки”,
напряму 0905 “Енергетика”,
денної та заочної форм навчання**

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
теплоенергетики
та холодильної техніки
як курс лекцій
Протокол № 12
від 9.02.2009 р.

Київ НУХТ 2009

Масліков М.М. Холодильна технологія: Курс лекцій для студ. спец. 6.090500 “Холодильні машини і установки”, напр. 0905 “Енергетика” ден. та заоч. форм навч. – К.: НУХТ, 2009.– 162 с.

Рецензент А.В.ФОРСЮК, кандидат технічних наук

М.М.МАСЛІКОВ, кандидат технічних наук

© М.М.Масліков, 2009
© НУХТ, 2009

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Загальні основи холодильної технології	6
1. Хімічний склад і основні властивості харчових продуктів	6
2. Теоретичні основи холодильного консервування харчових продуктів	12
3. Охолодні середовища та їх властивості	20
Розділ 2. Способи холодильного оброблення харчових продуктів	33
4. Охолодження харчових продуктів	33
5. Заморожування та підморожування харчових продуктів	40
6. Холодильне зберігання харчових продуктів	58
7. Оtepлення та розморожування	77
Розділ 3. Техніка холодильного оброблення харчових продуктів	85
8. Холодильний ланцюг та його ланки	85
9. Холодильне оброблення м'яса, м'ясних продуктів, птиці та яєць	90
10. Холодильне оброблення риби та рибних продуктів	100
11. Холодильне оброблення молока та молочних продуктів	108
12. Холодильне оброблення плодів та овочів	116
13. Використання штучного холоду на харчових виробництвах	126
14. Холодильне транспортування і зберігання продуктів у споживача	141
Література	151
Додатки	153

ВСТУП

Переважна більшість харчових продуктів є складними біохімічними системами і швидко псуються за кімнатної температури. Цьому додатково сприяє інтенсивний розвиток на поверхні продуктів мікроорганізмів (бактерії, пліснява та ін.). До того ж, в умовах клімату України вирощування фруктів та овочів має сезонний характер, тому зберегти їх харчову цінність протягом цілого року можна лише консервуванням. Вибір способу консервування залежить від властивостей продукту, міри збереження його якості та харчової цінності після зберігання та вартості способу. Для більшості продуктів як рослинного, так і тваринного походження використовують холодинське консервування. Воно дає можливість запобігти псуванню, скоротити втрати сировини та продукції за мінімальної зміни властивостей первинного продукту.

Світове виробництво харчових продуктів становить близько 5 млрд т. З них лише 400 млн т проходять оброблення холодом (за потреби близько 2 млрд т). Через недостатність чи брак штучного охолодження у світі втрачається 20–30 % вироблених харчових продуктів, у тому числі 30–40 % урожаю плодів та овочів. У світі є понад 300 млн холодинських сховищ та 800–1000 млн домашніх холодинників. Холодинське оброблення входить до більшості технологічних послідовностей вироблення харчових продуктів, його використовують для зберігання сировини, вироблення та зберігання продукції.

Основне завдання холодинської технології – обрати найраціональніші способи та режими холодинського оброблення харчових продуктів для максимального збереження їх якості за мінімальних витрат коштів. Для цього слід мати уявлення про склад і властивості харчових продуктів, технології їх вироблення, зміни, що відбуваються у сировині та продуктах під час вироблення та зберігання.

Холодинська технологія – це галузь знань і практичної діяльності, що вирішує завдання холодинського оброблення харчових продуктів, а також використання холоду для їх вироблення. Вона вивчає вплив холодинського оброблення на харчові продукти; визначає оптимальні режими холодинського оброблення з урахуванням особливостей продуктів і властивих їм змін; розробляє науково обґрунтовані методи зниження втрат маси та якості продуктів під час холодинського оброблення; розробляє нові способи холодинського оброблення харчових продуктів.

Виділяють п'ять основних процесів холодинської технології: охолодження, заморожування, холодинське зберігання, розморожування та отеплення. На них ґрунтуються інші, похідні, процеси, такі як сублімаційне висушування, кріоконцентрування, кріоподрібнення, кріорозділення тощо.

Для успішного вивчення холодинської технології харчових продуктів слід використовувати знання з фізики (зокрема тепломасообміну), хімії, біохімії, біології, технології харчових виробництв і холодинської техніки. Така різноманітність методів і підходів пояснюється насамперед великою різноманітністю харчових продуктів і процесів, що відбуваються у них. Крім того, для поліпшення процесу зберігання загалом слід пригнічувати життєдіяльність мікроорганізмів. Але у деяких технологіях навпаки слід створити умови для розвитку певних мікроорганізмів.

Пошуки способів охолодження та холодильного зберігання харчових продуктів людство веде з найдавніших часів. Спочатку використовувалися природні засоби: глибинні шари землі, де зберігалася стабільно низька температура (у льохах, у вічній мерзлоті), сніг або лід, зимове повітря (для заморожування). Використовували також випарювальне охолодження. У XVI ст. у Європі для охолодження почали використовувати розчинення селітри у воді, а також льодосоляні суміші, що плавилися при нижчих температурах, ніж лід.

Значний стрибок у розвитку холодильної технології відбувся у другій половині XIX ст., коли впровадження холодильних машин відкрило можливості для підтримання певних температурних режимів холодильного оброблення. Вперше охолодження і заморожування м'яса здійснили в Австралії у 1861 р. У 1874 р. К. Лінде (Німеччина) встановлює холодильні машини, що працювали на метиловому ефірі, на пивоварнях у Мюнхені та Трієсті. Згодом він удосконалив холодильну машину, застосувавши аміак. На бойнях холодильні технології вперше було застосовано в 1873 р. у Техасі. В 1889 р. на пивоварному заводі у місті Пльзень, змонтували аміачне холодильне обладнання. На початку XX ст. холодильне обладнання вже використовувалося на харчових підприємствах більшості європейських країн. Штучний холод використовувався для вироблення молочних продуктів, маргарину, шоколаду, а також для зберігання продуктів.

У 1904 р. у США поширився безперервний спосіб заморожування та розпочалося вироблення заморожених вершкових кремів. З 1905 р. заморожували дрібні фрукти, а згодом, після досліджень проведених у Каліфорнії – значну кількість фруктів та овочів. Протягом 1910–1914 рр. Х. Горе у США проводить ряд дослідів із заморожування та кріоконцентрування фруктових соків. Р. Колбе у 1925 р. впровадив спосіб заморожування у формах. В 1929– 1930 рр. К. Бердсай винайшов плиткові морозильні апарати та спосіб швидкого заморожування продуктів з подальшою доставкою їх до споживачів з використанням транспортних холодильників і продажем з охолоджуваних вітрин. У 1930-х роках і після закінчення Другої світової війни розпочалося інтенсивне будівництво великих холодильників.

З початку XX ст. фахівці з різних галузей знань (біологи, хіміки, фізики, медики тощо) ґрунтовно досліджували вплив холоду на різноманітні біологічні об'єкти. Узагальнення цих досліджень наведені у працях Р. Планка, Г. Лорентцена, Д. А. Христуло, Д. Г. Рютова, Г. Б. Чижова, М. О. Головіна, І. Г. Чумака.

Сучасні проблеми холодильної технології полягають у створенні та вдосконаленні безперервного холодильного ланцюга “виробник – продавець – споживач”. Це дасть можливість значно скоротити втрати харчових продуктів.

Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає завдання холодильної технології?
2. Які основні процеси виділяють у холодильній технології?
3. Чому інтенсивний розвиток холодильної технології розпочався лише наприкінці XIX ст.?

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД І ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1. Склад харчових продуктів

Харчові продукти містять багато, різних за своєю природою речовин. Їх склад визначає теплофізичні та хімічні властивості продуктів, важливі для холодительної технології.

Вода міститься практично в усіх харчових продуктах, причому її вміст коливається у широких межах: від 0,1 (цукор-пісок) до 95 % (фрукти та овочі). За існуючою класифікацією виділяють вільну та зв'язану (гідратаційну) воду.

Вільна вода міститься в міжклітинному просторі продукту і є розчинником мінеральних речовин. Вона бере участь у біохімічних реакціях, осмотичних і дифузійних явищах. Крім того, вода є середовищем життєдіяльності для мікроорганізмів, що містяться у продуктах, тому вологовміст визначає стійкість продуктів під час зберігання. Зв'язана вода входить до колоїдних систем, властивості яких визначають численні взаємодії у харчових продуктах. Вміст зв'язаної води становить близько 10 % від загального вологовмісту продукту. Встановлено, що для харчових продуктів із вмістом води понад 15 % холодительне оброблення є неодмінною умовою зберігання. Під час холодительного оброблення вода може перебувати у твердому (лід), рідкому та пароподібному станах, здійснювати фазові переходи.

Білки (протеїни) – основна складова рослинних і тваринних клітин, а отже, і харчових продуктів. Це високомолекулярні сполуки, що складаються з амінокислот. Білки містять вуглець, водень, кисень, азот, сірку, інколи фосфор. За властивостями вони поділяються на прості (альбуміни, глобуліни, еластин, кератин, колаген та ін.) та складні (казеїн, хроматин), що містять молекулу простого білка і приєднану до неї молекулу іншої речовини. З білками надходять до організму амінокислоти, у тому числі незамінні, що є будівельним матеріалом для тканин організму, а також сприяють кровотворенню, нормальній роботі нервової та імунної систем.

Стан, у якому білки перебувають у живих рослинних і тваринних органах називається *нативним*. Але білки легко й швидко змінюються під впливом різних факторів, зокрема під час нагрівання чи охолодження. Цей процес називається *денатурацією*. Для раціонального зберігання білкових продуктів слід створювати такі умови, щоб денатураційні зміни були мінімальними.

Жири (ліпіди) дуже поширені в живій природі. Спільною для них є нерозчинність у воді і розчинність у органічних сполуках (ефіри, спирти тощо). Вони складаються з багатоатомних спиртів та органічних жирних кислот. До складу жиру може одночасно входити декілька жирних кислот, причому кислотний склад жиру визначає його фізико-хімічні властивості. Насичені жирні кислоти стійкі, ненасичені – легко окиснюються та полімеризуються. Жири поділяються на дві основні групи: нейтральні (гліцериди) та ліпоїди. Гліцериди – насичені ефіри гліцерину та жирних кислот. Ліпоїди (жироподібні речовини) в свою чергу поділяються на фосфатиди (лецитин, цефалін та ін.) і стерини (холестерин, фітостерин, ергостерин).

Харчова цінність жирів полягає у можливості накопичувати максимальну кількість енергії в одиниці маси, завдяки чому вони відіграють роль акумулятора

енергії в організмі. Крім того, жири входять до складу багатьох тканин організму.

До вуглеводів належать усі прості цукри, або моносахариди (глюкоза, фруктоза, галактоза), а також речовини, що можуть бути перетворені в них шляхом гідролізу. Вони містяться в овочах, фруктах (глюкоза, фруктоза, крохмаль, целюлоза), цукрі (цукроза, глюкоза, фруктоза), молоці (лактоза), печінці (глікоген). Крохмаль і глікоген є резервними речовинами відповідно рослинних і тваринних організмів, за їх допомогою у організмах накопичується енергія, тому вуглеводи – основне джерело енергії, яку організм отримує з харчових продуктів.

Мінеральні речовини входять до складу продуктів у вигляді іонів натрію, калію, кальцію, магнію, заліза, міді, цинку, хрому, ванадію, сірки, фосфору, хлору, що перебувають у водному розчині. Вони сприяють збереженню кислотно-лужної рівноваги, підтриманню водного балансу, беруть участь у створенні та підтриманні осмотичного тиску у клітинах, а також у біохімічних реакціях. Нестача мінеральних речовин призводить до порушень у роботі організму. Так, нестача кальцію спричиняє хвороби кісток і сповільнення росту, йоду – захворювання, відоме як зоб, а заліза – хвороби крові.

Ферменти (ензими) є біокаталізаторами, що синтезуються живими організмами і прискорюють хімічні та біохімічні реакції у організмі. Для переведення поживних речовин у форму, що може бути засвоєна організмом, вони мають піддатися впливу одного чи кількох ферментів. Більшість ферментів руйнується при температурах понад 75 °С. Низькі температури не руйнують ферменти, проте роблять їх неактивними (деактивують). Ферменти поділяються на дві групи: гідролази та оксиредуктази. Гідролази – це ферменти-протеїни, що діють у присутності води. Вони здійснюють каталітичні реакції на зразок гідролізу, розщеплюючи складні речовини на більш прості. Оксиредуктази прискорюють окисно-відновні реакції. Знання властивостей ферментів і ферментативних процесів дає можливість обрати раціональний режим виробництва та холодильного оброблення продуктів.

Вітаміни – це біологічно активні органічні сполуки різної хімічної природи. Вони, як і ферменти, сприяють обміну речовин, але на відміну від ферментів не виробляються організмом, а надходять з їжею. Деякі вітаміни можуть утворюватися у людському організмі з провітамінів під впливом різних факторів, але провітаміни також надходять з їжею. Нестача вітамінів може спричинити різноманітні хвороби (авітамінози). Вітаміни поділяються на водо- та жиророзчинні. Вони позначаються латинськими літерами, а у окремих випадках ще й числовими індексами (наприклад В₂). Харчові продукти – єдине джерело вітамінів, тому необхідно вести оброблення та зберігання продуктів так, щоб максимально зберегти вітаміни.

1.2. Колоїдно-хімічні властивості харчових продуктів

Харчові продукти можна розглядати як дисперсні або колоїдні системи, тобто системи, що складаються з двох і більше компонентів (фаз). Щонайменше одна фаза – дисперсна фаза – розподілена у вигляді дрібних часток у іншій фазі – дисперсійному середовищі. Існує декілька типів дисперсних систем (табл. 1).

Таблиця 1

Типи дисперсних систем

Дисперсійне середовище	Дисперсна фаза		
	Газ	Рідина	Тверде тіло
Газ	–	Аерозоль (туман)	Аерозоль (дим)
Рідина	Піна	Золь (емульсія)	Золь (суспензія)
Тверде тіло	Гель	Гель	Твердий золь

Системи поділяють за ступенем подрібнення часток (дисперсністю) (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація систем за дисперсністю

Назва	Розмір часток, м	Приклад
Дисперсії (суміші)	$10^{-6} - 10^{-7}$	Вода + пісок
Дисперсоїди	$10^{-6} - 10^{-9}$	Вода + крохмаль
Дисперсиди (розчини)	$< 10^{-9}$	Вода + кухонна сіль

Колоїдні системи займають проміжне положення між розчинами і механічними сумішами. Розміри колоїдних часток на декілька порядків перевищують розміри молекул дисперсійного середовища, тому на поверхні часток адсорбуються молекули дисперсійного середовища (рис. 1). Адсорбційний шар на поверхні кожної з часток, має однойменний заряд, що не дає можливості часткам дисперсної фази об'єднуватись. Тому колоїдні системи стійкіші за фізичні суміші.

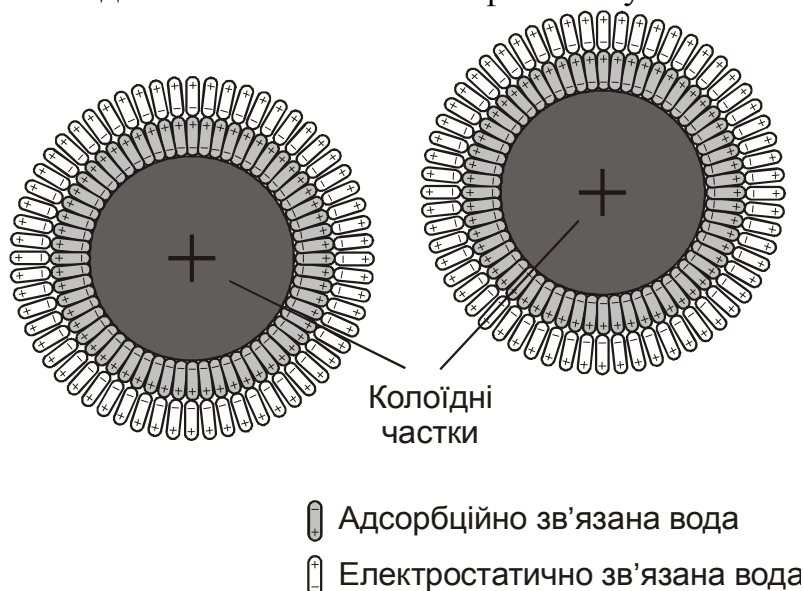


Рис. 1. Будова міцел

Для холодильної технології найцікавішими є золі та гелі, у яких дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною фазою – органічні речовини продуктів (білки, полісахариди). Вода, адсорбована колоїдними частками дисперсної фази, перебуває у зв'язаному стані. Завдяки великій сумарній поверхні часток її вміст у колоїдних системах значний. Під впливом адсорбційних сил зв'язана вода стискається, тому її властивості відрізняються від властивостей вільної води. Для холодильної

технології найважливішим є те, що зв'язана вода – поганий розчинник і замерзає при нижчій температурі, ніж вільна вода. З наближенням температури розчину до точки замерзання вміст зв'язаної води зростає.

Живі організми майже повністю складаються із золів і гелів, що мають різний вміст води. Золі та гелі складаються з міцел, що являють собою електрично заряджену колоїдну частку, оточену шаром молекул води (рис. 1). Перший шар молекул зв'язаний з поверхнею частки адсорбційно, а подальші зв'язані з міцелою менш міцними електростатичними зв'язками. Гідрофільні частки мають значну водну оболонку, гідрофобні можуть взагалі її не мати.

Частки можуть мати як позитивний, так і негативний заряд, але у межах однієї системи ці заряди мають однаковий знак. Однойменні заряди і водяна оболонка не дають часткам зблизитися та об'єднатися у крупніші частки.

Гелі під впливом температури можуть переходити у напівтвердий стан (желе). Желе має здатність до *набухання* (поглинання рідини) зі збільшенням об'єму. При цьому рідина не просто розподіляється між міцелами, а проникає до них. Водночас може відбуватися процес розчинення желе, що приводить до зменшення об'єму. Під час набухання виникає великий тиск, який з часом зменшується.

Швидкість набухання гелю збільшується зі зростанням його поверхні. Набухання тканин, що складаються з окремих клітин, ускладнюється, бо клітина, збільшуючись, тисне на сусідні клітини, перешкоджаючи їх набухання. Процеси сушіння як при підвищених, так і при низьких температурах, концентрування випарюванням та кріоконцентрування пов'язані з видаленням вологи набухання.

Під час контакту двох колоїдних розчинів, що мають різну концентрацію однієї й тієї самої речовини, відбувається явище *дифузії*, подібне до дифузії у звичайних розчинах. Молекули розчиненої речовини дифундують у слабший розчин, а молекули розчинника – у міцніший доти, доки концентрація розчинів не вирівняється. Густина дифузійного потоку j визначається законом Фіка.

$$j = -\rho D \nabla c \quad (1)$$

де ρ – густина речовини, кг/м^3 ; ∇c – градієнт концентрацій речовини; D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$. Його величина прямо пропорційна абсолютній температурі, обернено пропорційна радіусу частки (молекули) і в'язкості рідини, а також залежить від молекулярної маси. У колоїдних розчинах через великі молекулярні маси та розміри часток дифузія проходить надзвичайно повільно.

Якщо між двома розчинами різної концентрації встановити напівпроникну мембрану, тобто мембрану, що пропускає молекули розчинника, але затримує молекули розчиненої речовини, то процес дифузії проходитиме лише для молекул розчинника. Вони переходитимуть у більш концентрований розчин, а зворотного руху часток розчиненої речовини не буде. Такий процес називається *осмосом*. Частки розчиненої речовини, що прагнутимуть проникнути через мембрану, створюватимуть на неї тиск, що називається осмотичним. Цей тиск пропорційний молекулярній концентрації розчиненої речовини і абсолютній температурі. У розчині кількох речовин сумарний осмотичний тиск визначається сумою молекулярних концентрацій компонентів. Молекулярна маса компонентів не має

значення. У біологічних рідинах, що являють собою складну комбінацію молекулярних, іонних і колоїдних розчинів, осмотичний тиск визначається сумарною концентрацією частинок – осмотичною концентрацією.

Осмотичні явища відіграють важливу роль у життєдіяльності організмів. Клітинна оболонка є напівпроникною мембраною, тому такі явища, як плазмоліз та плазмоплиз (зменшення та збільшення вмісту клітин), підтримання тургору (напруги всередині клітини), клітинний обмін речовин за природою є осмотичними. Такі процеси харчових виробництв, як соління, консервування, заморожування у розсолах чи сиропх пов'язані з дифузійними та осмотичними процесами. Їх регулювання дає можливість одержати продукт високої якості.

Колоїднодисперсні системи мають відносно малу стійкість. Якщо під впливом якихось факторів міцели одержують можливість дотикатися, то вони об'єднуються, утворюючи крупніші частки. Цей процес називається *коагуляцією*. Їй сприяють усі явища, що викликають зменшення електричного заряду часток (наприклад адсорбція електролітів) чи їх водної оболонки (наприклад уведення у дисперсійне середовище речовин, що утворюють гідрати). Також коагуляція може відбуватися внаслідок механічного перемішування, зміни концентрації, нагрівання, охолодження, заморожування, під впливом світла та інших факторів.

Під час коагуляції полідисперсних золів, що містять частки різного розміру, спочатку коагулює грубодисперсна (крупніша) фаза, а потім високодисперсна (дрібніша). Міра коагуляції різних складових продуктів залежно від різних способів заморожування та зберігання при низьких температурах визначає придатність того чи іншого методу холодильного оброблення.

Колоїдні розчини мають схильність до *піноутворення*. Піни являють собою концентровані емульсії газів (див. табл. 1). Для утворення піни у розчині мають бути присутні речовини, що сприяють цьому (піноутворювачі), розчини яких є поверхнево активними: органічні кислоти та їх солі (мило), колоїди (білки, пектин). Стійкість піни залежить від міцності адсорбційної плівки, створеної піноутворювачем. За колоїдних піноутворювачів стійкість піни зростає зі збільшенням їх концентрації. Випаровування у відкритій посудині зменшує стійкість піни.

У харчовій технології піноутворення спостерігається під час оброблення молока, заморожування риби у розсолі тощо. Воно шкідливе, бо не дає можливості повністю використовувати об'єм посудин, ускладнює експлуатацію обладнання та дотримання санітарних умов. Для боротьби з піноутворенням використовують піногасники – речовини, що витісняють з поверхневого шару піноутворювач і знижують міцність плівки, внаслідок чого вона руйнується. До піногасників відносять етиловий спирт, жирні кислоти та деякі інші речовини.

Фізичні властивості харчових продуктів суттєво залежать від їх хімічного складу. Для вивчення процесів холодильної технології найважливішими з них є теплофізичні: густина (ρ , кг/м³), питома ентальпія (h , Дж/кг), питома теплоємність (c , Дж/(кг·К)), тепло- та температуропровідність. Чисельні значення останніх двох визначаються коефіцієнтами: λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); α – коефіцієнт температуропровідності, м²/с.

Продукти умовно вважають двокомпонентними системами, що містять воду та сухі речовини, тому їх питому теплоємність визначають за формулою

$$c = c_w W + c_c(1 - W), \quad (2)$$

де W – вологовміст продукту, кг/кг; c_w , c_c – питомі теплоємності відповідно води та сухих речовин, Дж/(кг·К). Питома теплоємність води становить 4,19 кДж/(кг·К). Питома теплоємність сухих речовин більшості продуктів тваринного походження лежить у межах 1,34–1,68 кДж/(кг·К), рослинного – близько 0,91 кДж/(кг·К). За рахунок того, що питома теплоємність води значно вища, ніж у сухих речовин, зростання вологовмісту продукту призводить до зростання теплоємності.

Питома теплоємність майже всіх продуктів (при температурах, вищих, ніж точка замерзання) мало залежить від температури. Винятком є лише продукти, що містять жири, зміна теплоємності яких від температури пояснюється зміною агрегатного стану жирової частини та виділенням теплоти фазового переходу.

Коефіцієнт теплопровідності харчових продуктів:

$$\lambda = \lambda_w + \lambda_c(1 - W), \quad (3)$$

де λ_w – коефіцієнт теплопровідності води, що дорівнює 0,60 Вт/(м·К); λ_c – коефіцієнт теплопровідності сухих речовин, що дорівнює 0,26 Вт/(м·К). У діапазоні температур 0–30 °С теплопровідність продукту змінюється незначно, а після заморожування значно зростає, бо теплопровідність льоду у чотири рази вища, ніж у води.

Коефіцієнт температуропровідності продукту, a , м²/с, характеризує швидкість поширення у ньому температурного фронту.

$$a = \lambda / c\rho, \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·К); c – питома теплоємність продукту, Дж/кг К; ρ – густина продукту, кг/м³. Він є практично сталим, але з початком заморожування різко зменшується. Це спричинено виділенням теплоти кристалізації. За подальшого зниження температури коефіцієнт температуропровідності зростає і стабілізується після повного вимерзання води.

Густина продуктів значно змінюється навіть для одного й того самого продукту залежно від способу його оброблення, температури, вологовмісту тощо.

Для розрахунків кількості відведеної від продукту теплоти користуються *питомою ентальпією* продукту. Її значення приймають рівним нулю при певній температурі (як правило, –20 °С). Користуючись для розрахунків даними з різних джерел, слід переконатися, що початок відліку ентальпій у цих джерелах збігається.

Для розрахунків вологообміну між продуктом і повітрям використовують *рівноважну відносну вологість повітря*, тобто таку, що встановиться над поверхнею продукту з певним вологовмістом при певній температурі. Графічно вона зображується ізотермами сорбції.

До фізичних властивостей відносять також *кріоскопічну температуру* продукту – температуру початку замерзання розчину, або рідкої фази продуктів (тканинного соку). Цей сік є складним дисоційованим колоїдним розчином, якому відповідає кріоскопічна температура –0,5...–5 °С. Вона залежить від властивостей розчину (концентрації, ступеня дисоціації розчинених речовин та ін.). Кріоскопічну температуру для розчину чистої речовини розраховують за формулою

$$t_{кр} = t_{кр}^{води} - Km, \quad (5)$$

де $t_{кр}^{води}$ – кріоскопічна температура води, $t_{кр}^{води} = 0^{\circ}\text{C}$; K – кріоскопічна стала води, $K = 1,84$; m – моляльна концентрація розчину (моль речовини / кг води). Проте більшість харчових продуктів не є чистими речовинами, тому кріоскопічні температури для них визначають дослідним шляхом.

Всі зазначені характеристики харчових продуктів визначають з довідкової літератури. Теплофізичні характеристики деяких харчових продуктів і матеріалів наведені у дод. 1.

Речовини харчових продуктів у організмі вступають у хімічні та біохімічні реакції, наслідком яких є виділення енергії. Ця енергія використовується організмом для підтримання процесів життєдіяльності. Вміст енергії (у кДж або ккал) у 100 г продукту називають *калорійністю* або *енергетичною цінністю* продукту.

Якщо розглянути продовольчий ланцюг, що складається з вирощування, збирання врожаю, переробки, пакування, зберігання, розподілу і приготування їжі, то співвідношення між енергією, необхідною для вироблення, зберігання і розподілу харчових продуктів, і тією енергією, що міститься у них, дорівнює приблизно 10 кДж/кДж. Важливо досягти зменшення цього співвідношення шляхом проведення політики енергозбереження на всіх ланках продовольчого ланцюга, зокрема під час холодильного оброблення.

Запитання для самоперевірки

1. Яку роль у організмі людини відіграють білки, жири, вуглеводи? Які зміни властиві їм та під впливом яких факторів вони проходять?
2. Яку роль у організмі людини відіграють вітаміни? Чому слід дбати про максимальне збереження вітамінів у продуктах?
3. Що таке колоїдна система? Чим вона відрізняється від суміші та розчину?
4. Чому міцели колоїдної системи не об'єднуються у більші частки? Як і чому відбувається коагуляція колоїдних систем?
5. Чим шкідливе піноутворення у холодильній технології?
6. Як залежить питома теплоємність продукту від його вологовмісту?
7. Як і чому змінюється коефіцієнт теплопровідності продукту після заморожування?
8. Що таке рівноважна відносна вологість повітря?
9. Що таке кріоскопічна температура продукту? Від чого вона залежить?
10. Чому важливою для споживача є енергетична цінність продукту?

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОГО КОНСЕРВУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

2.1. Псування харчових продуктів

Під час зберігання при кімнатній температурі деякі харчові продукти, зокрема цукор, борошно, крупи, не псуються протягом тривалого часу. За подібних умов інші продукти (їх називають *швидконсумними*) зазнають значних змін смаку, запаху,

кольору та консистенції внаслідок значного вмісту води та органічних сполук. До них належать м'ясо, м'ясопродукти, риба та морепродукти, молоко та молочні продукти, яйця, жири, свіжі плоди та овочі, фруктові соки, пиво та ін.

Види псування харчових продуктів можна визначити кількома способами. Як правило, харчовий продукт вважається зіпсованим, якщо він стає неприйнятним для споживача. Псування є причиною виникнення проблем безпеки харчування, коли продукт може спричинити захворювання споживача чи навіть його смерть. Менш серйозні випадки псування продукту виявляються у погіршенні його смаку, аромату, кольору, зниження харчової цінності через зменшення вмісту поживних речовин. Час, за який харчовий продукт перестає відповідати хоча б одному з зазначених критеріїв, називають *терміном зберігання* харчового продукту.

Процеси, що призводять до псування, поділяють на три основні типи: фізичні, хімічні та мікробіологічні (табл.3). Між ними існує певна кореляція – псування, спричинене процесами одного типу, може сприяти розвитку процесів іншого типу.

Таблиця 3

Процеси псування продуктів [6]

Продукт	Процеси псування	Сприятливі фактори
Свіже м'ясо	Ріст мікроорганізмів, окиснення, втрата вологи	Температура, кисень, світло, вологість
Свіжа птиця	Ріст мікроорганізмів	Температура, кисень
Свіжа риба та морепродукти	Ріст мікроорганізмів, окиснення	Температура, кисень
Свіжі овочі та фрукти	Дихання, ріст мікроорганізмів, втрата вологи,	Температура, кисень, вологість
Заморожене м'ясо	Окиснення, температурний опік (зневоднення), виморожування вологи, зміна структури	Температура, кисень, вологість
Інші заморожені продукти	Окиснення, виморожування вологи, зміна структури	Температура, кисень

До псування продуктів призводять такі фактори: вплив кисню повітря та сонячних променів; висока температура; активність води a_w (відношення парціального тиску водяної пари над поверхнею продукту до тиску насичення при даній температурі), що відповідає відносній вологості повітря над поверхнею продукту; діяльність тканинних ферментів; життєдіяльність мікроорганізмів; наявність у продукті певних речовин.

Псування першого типу відбувається внаслідок структурних змін чи структурної нестабільності харчових продуктів (механічні пошкодження, втрата або сорбування вологи, міграція вологи всередині продукту тощо).

Псування другого типу спричиняється хімічними та біохімічними реакціями, що проходять у продукті – розкладання білків, окиснення жирів, гідроліз вуглеводів тощо. Швидкість цих реакцій залежить від багатьох факторів: температури, активності води, рН, освітлення, парціального тиску кисню та ін.

Псування третього типу – наслідок життєдіяльності мікроорганізмів – бактерій, грибів (плісняви, дріжджі), вірусів та мікропаразитів. Продукти їх життєдіяльності, що накопичуються у продуктах, стають причиною псування, а у окремих випадках можуть спричинити тяжкі захворювання і навіть смерть. Це основний вид псування для свіжих фруктів, овочів, соків, м'яса, птиці, хлібобулочних виробів, молока та молочних продуктів. Інтенсивний ріст мікроорганізмів починається з досягненням порогових умов росту. Перелік основних мікроорганізмів, що спричиняють псування харчових продуктів та порогові умови їх росту наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Мікроорганізми, що спричиняють псування харчових продуктів

Мікроорганізми	Порогові умови росту			Харчові продукти
	t, °C	a _w	pH	
Мікроорганізми, що спричиняють псування				
<i>Бактерії</i>				
Молочнокислі бактерії	4	0,94	3,5	М'ясо, молоко
Мікрококки	4	0,9	5,0	Свіже і в'ялене м'ясо
Acinetobacter spp.	1	0,96	5,5	Свіже м'ясо, птиця, молоко
Bacillus subtilis	5	0,95	4,2–5	Свіже м'ясо, птиця, молоко, хліб
Enterobacter aerogenes	2	0,95	5–5,5	Свіже м'ясо, птиця
Pseudomonas spp.	<0	0,97	5.5	М'ясо, птиця, яйця
<i>Гриби</i>				
Aspergillus niger	0	0,8	1,2	Продукти м'ясопереробки
Botrytis cinerea	–2	0,93	2.5	Продукти м'ясопереробки
Penicillium spp.	–6	0,78–0,9	1,9	М'ясо
Rhizopus stolonifer	5	0,93	2,5	Свіже м'ясо
<i>Дріжджі</i>				
Candida spp.	0	0,7	1,3	М'ясо, птиця, молочні продукти, морепродукти
Trichosporon spp.	0	0,87	2,0	М'ясо, морепродукти
Бактерії, що є збудниками хвороб				
Bacillus cereus	10	0,92	4,9	Свіже м'ясо, риба
Campylobacter jejuni	25	0,95	4,9	М'ясо
Escherichia coli O157:H7	15	0,95	4,0	М'ясо, птиця
Listeria monocytogenes	0	0,92	4,3	М'ясо, птиця, молочні продукти
Salmonella spp.	7	0,94	4,0	М'ясо, птиця
Staphylococcus aureus*	6/10	0,86/0,9	4,0/4,5	М'ясо, птиця
Vibrio parahaemolyticus	5	0,94	4,8	Риба, морепродукти
Yersinia enterocolitica	–2	0,96	4,2	Свіже м'ясо, морепродукти

* за умов, вказаних у знаменнику, утворюється токсин

2.2. Принципи консервування харчових продуктів

Завдання консервування – зберегти харчові продукти протягом максимально можливого терміну за умови мінімальних втрат продукту і максимального

збереження смакової та харчової цінності. Для цього застосовуються різні методи оброблення, що поділяють на такі групи:

фізичні – використання високих чи низьких температур, випромінень, ультразвуку, фільтрації;

фізико-хімічні – сушіння, засолювання, зацукрювання;

хімічні – застосування спеціальних хімічних речовин – консервантів.

Консерванти не повинні змінювати властивості та смак продуктів та бути шкідливими для людини. З цих міркувань використання деяких консервантів у ряді країн заборонено. До дозволених в Україні належать етиловий спирт, оцтова, сірчиста, бензойна, сорбінова кислоти та деякі їх солі, борна кислота, уротропін, деякі антибіотики, озон, вуглекислий газ та ін;

біохімічні (квашення та ін.) – ґрунтуються на пригнічувальній дії молочної кислоти, що утворюється внаслідок зброджування цукрів продукту молочнокислими бактеріями;

комбіновані (копчення та ін.) – передбачають застосування декількох методів водночас.

Для збереження продукту слід обмежити чи усунути впливи мікроорганізмів і ферментів, що за природою є біологічними. За класифікацією проф. Я. Я. Никитинського відповідно до впливу на біологічні фактори псування всі методи консервування зведені до чотирьох принципів:

біоз (підтримання життя) – підтримання життєдіяльності у продуктах і використання їх природної здатності опиратися дії мікроорганізмів. Приклади: транспортування живої риби у цистернах, передзабійне утримання худоби, зберігання плодоовочевої сировини без охолодження та обробки;

анабіоз (пригнічення життя) – пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів і активності ферментів за допомогою фізичних і хімічних методів. Приклади: висушування, засолювання, маринування, зберігання за підвищеного вмісту вуглекислого газу, холодильне консервування;

ценоанабіоз, або *кеноанабіоз* (вибіркове пригнічення життя) – пригнічення шкідливих мікроорганізмів шляхом створення умов, сприятливих для розвитку корисних мікроорганізмів (можуть окремо вводитися у продукт у вигляді закваски) та несприятливих для патогенної мікрофлори. Приклади: квашення, виготовлення кисломолочних продуктів;

абіоз (відсутність життя) – повне припинення життєдіяльності мікроорганізмів. Приклади: стерилізація (нагрівання до температури понад 100 °C), пастеризація (нагрівання до температури до 100 °C), опромінення, використання антисептиків чи антибіотиків, стерилізаційна фільтрація.

Під час вибору методу консервування слід керуватися не лише рівнем гальмування мікробіологічних процесів (тобто можливою тривалістю зберігання), а й збереженням первинних смакових якостей і харчової цінності продукту, а також економічністю процесу.

За трьома критеріями, зазначеними вище, найдоцільнішим є холодильне консервування. Існують такі способи холодильного оброблення продуктів:

охолодження – відведення теплоти від продукту зі зниженням його температури без утворення льоду. Цей спосіб може використовуватися як окремо, так і передувати подальшому холодильному обробленню;

переохолодження (підморожування) – охолодження продукту до температури, нижчої за криоскопічну, що супроводжується частковою кристалізацією води у поверхневому шарі продукту. Переохолоджені продукти можуть зберігатися у 2–2,5 рази довше, ніж охолоджені;

заморожування – відведення теплоти від продукту зі зниженням його температури значно нижче за криоскопічну, супроводжується кристалізацією більшості води продукту. Значно подовжує тривалість зберігання;

доморожування – відведення теплоти від частково замороженого продукту зі зниженням його температури до заданого рівня;

отеплення – підведення теплоти до охолоджених продуктів з підвищенням їх температури до температури довкілля або дещо нижчої;

розморожування – підведення теплоти до заморожених продуктів з метою плавлення льоду, що міститься в них. Вода, що утвориться при цьому, має якнайповніше поглинутися тканинами продукту.

Холодильне оброблення може тривати протягом різного часу: від кількох хвилин до кількох діб, що впливає на якість продуктів.

Холодильне зберігання – це зберігання продуктів в заданому режимі в камері після холодильного оброблення. Воно може тривати від кількох діб до кількох років.

Режимом холодильного оброблення (зберігання) називають сукупність параметрів та умов, що впливають на якість продуктів (температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, склад газового середовища, спосіб розміщення, тривалість процесу).

2.3. Вплив низьких температур на біологічні об'єкти

Мікроорганізми в процесі життєдіяльності виділяють у навколишнє середовище екзоферменти, під дією яких склад продуктів значно змінюється. Так само негативно діють ендоферменти, що виділяються внаслідок відмирання мікроорганізмів. У процесі розмноження мікроорганізмів у харчовому продукті відбувається розпад органічних речовин і накопичуються метаболіти – продукти обміну речовин (іноді отруйні), що негативно впливають на якість продукту. Зазначені зміни залежать від кількісного і якісного складу мікрофлори продукту і від навколишнього середовища.

За ставленням до температури мікроорганізми поділяють на три групи: *термофіли* (розвиваються при температурах 20–80 °С, оптимально – при 50–75 °С), *мезофіли* (5–57 °С), та *психрофіли* (–10...10 °С). Для холодильної технології найцікавішими є психрофіли. Їх поділяють на факультативні, які здатні жити в тих самих умовах, що й мезофіли, та облигатні, які можуть розмножуватися лише при низьких температурах. Психрофільні бактерії активно розмножуються на продуктах з малою кислотністю – на м'ясі, рибі, некислих молочних продуктах при температурах –5...–8 °С.

Більшість плісняв є психрофільними і активно розвиваються на заморожених продуктах, насамперед кислих (сир). Вони припиняють розмножуватися при $-2...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (окремі види плісняв – лише при $-8...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). На поверхні мороженого м'яса, що зберігається при температурі, вищій ніж $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, з'являються окремі колонії пліснявих грибів. Міцелій гриба проникає у товщу продукту, утворюючи спори (для грибів і дріжджів вони є не тільки засобом захисту від несприятливих зовнішніх факторів, а й засобом розмноження). Пліснява починає розмножуватися, утворюючи білі, сірі та чорні плями на поверхні продукту. У продукті накопичуються продукти життєдіяльності плісняв, з'являється неприємний запах.

Для живих організмів існують температурні зони життєдіяльності (рис. 2). У зоні (а) життєдіяльність організмів різко обмежена (стан глибокого анабіозу). У зонах (б) та (г) організми перебувають у стані спокою або слабкої активності. У зоні (в) (зона оптимальних температур) відбувається найактивніша життєдіяльність, організми інтенсивно розмножуються. У зоні (д) життя відсутнє. Для холодильної технології найцікавішою є зона (б) та нижня частина зони (в), де відбуваються процеси холодильного оброблення та зберігання продуктів.

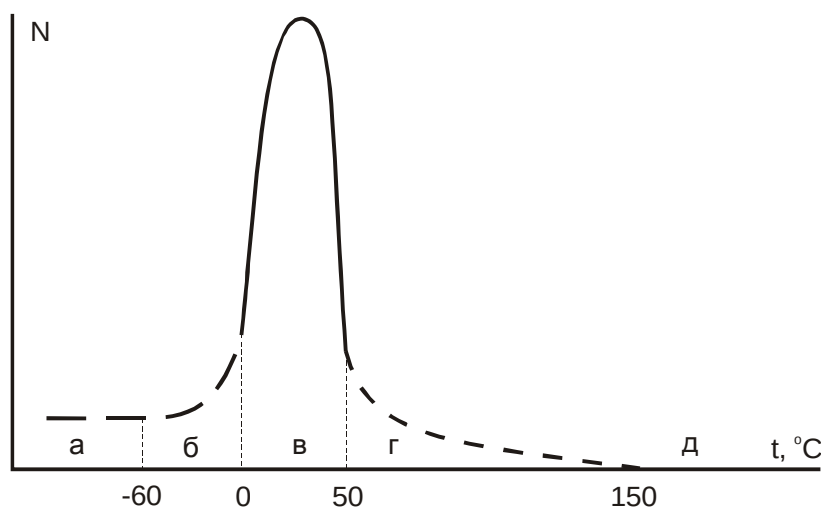


Рис. 2. Температурні зони життєдіяльності (N – кількість видів живих організмів)

Мікроорганізми бувають чутливими, помірно стійкими та нечутливими до від'ємної температури. Чутливими є грам-негативні бактерії, що належать до груп *coli*, і сальмонели. Стійкішими є грам-позитивні мікроорганізми, зокрема *Streptococcus aureus*. Найстійкішими є ґрунтові бактерії. Стійкість мікроорганізмів до впливу від'ємних температур залежить від температури, швидкості її зниження і тривалості впливу. Мікроорганізми можуть переходити у спорову форму. Спори, вкриті щільною оболонкою, є значно стійкішими до низьких і високих температур.

Вплив від'ємних температур на мікроорганізми полягає у зміні стану води в клітині. Утворення льоду призводить до підвищення концентрації розчинених мінеральних речовин як в клітині, так і поза нею. Розчин набуває властивостей електроліту, що спричиняє денатурацію білків та пошкодження оболонки клітин.

Навіть без утворення льоду мікроорганізми можуть загинути через холодовий шок, коли внаслідок швидкого зниження температури змінюється активність фер-

ментів і порушується динамічна рівновага біохімічних процесів, що супроводжується накопиченням у клітинах токсичних метаболітів. Також можливі структурні зміни у клітині: розклад нуклеїнових кислот, руйнування мембран, зростання в'язкості протоплазми аж до утворення гелю та відділення рідкої фази. За поступового зниження температури клітина може адаптуватися до зміни умов і вижити.

Пошкодження клітин та тканин під час заморожування пояснюється кількома факторами, що є наслідками виморожування води: *механічний* – тиск кристалів льоду, що утворюються, на стінки клітин; *осмотичний* – надмірне зневоднення клітин; *хімічний* – підвищення концентрації солей зовні і всередині клітин.

Льодоутворення за поступового зниження температури починається після переохолодження. Спочатку кристали льоду утворюються у міжклітинній рідині, концентрація розчинених речовин у ній починає зростати (рис. 3).

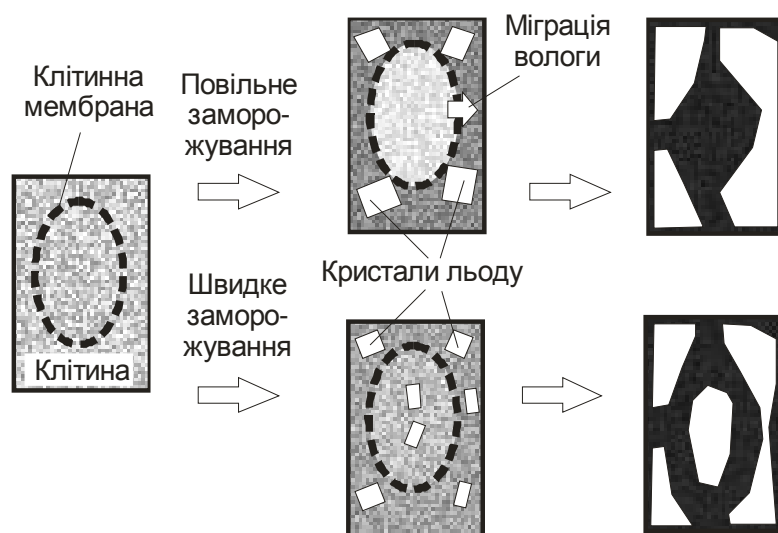


Рис. 3. Зміни в клітині під час заморожування

За рахунок різниці концентрацій вода переходить із клітин до міжклітинного розчину, внаслідок чого у ньому ростуть кристали та зневоднюються клітини. Далі процес кристалізації може початися у клітинах. У разі швидкого зниження температури кристалізація одночасно проходить і у міжклітинному розчині, і у клітинах.

Зниження температури продукту до $-8...-10^{\circ}\text{C}$ супроводжується інтенсивним льодоутворенням, різким зростанням концентрації розчинених хімічних сполук в рідкій фазі продукту, зменшенням її об'єму, зближенням молекул. При цьому створюються умови для структурної перебудови білкових молекул, виникнення міжмолекулярних реакцій, коагуляції. Порушення просторової структури макрочасток білків призводить до денатурації, її зовнішнім проявом є інтенсивне виділення тканинного соку під час розморожування. Підвищення концентрації електролітів у рідкій фазі стимулює розвиток цих процесів. Зона максимального розвитку денатураційних змін збігається з температурною зоною максимального льодоутворення. Денатурація спостерігається насамперед у білках фракції актоміозину за відсутності змін білків саркоплазми.

Внаслідок денатурації пошкоджуються ферментні системи. При цьому

відбувається як прискорення, так і сповільнення окремих реакцій, змінюється їх напрямок. Насамперед під час заморожування пошкоджуються ферментні системи дихального ланцюга і окиснювального фосфорилування мітохондрій, через що організм втрачає основні життєві функції (дихання і здатність до генерації енергії).

Міра шкідливого впливу низьких температур залежить від місця утворення кристалів льоду у тканинах біологічних об'єктів. Утворення великих кристалів усередині клітин призводить до інтенсивного руйнування елементів протоплазми, порушення її структури та загибелі клітин і організмів, кристалізація у міжклітинному просторі менш шкідлива.

Кристали льоду тиснуть на клітину, призводячи до розривів, проколів, порізів. Крім того, через наростання кристалів у міжклітинному просторі та зменшення розмірів клітин (через зневоднення) можливе стиснення оболонки клітини, утворення складок, механічне пошкодження протоплазми. Коли під час розморожування вода почне надходити до клітини, шари протоплазми починають розходитися, часто відбувається відрив протоплазми від оболонки. Крім того, під час контакту різних ділянок протоплазми можливе перенесення ряду активних структурних компонентів з однієї ділянки на іншу. Так, контакт мембран мітохондрій, на яких ферменти розміщені у чітко визначеній послідовності, може призвести до порушення енергетичного обміну та загибелі клітини.

Через зневоднення та тиск кристалів льоду в клітині зближуються окремі молекули білків, тому можливим стає утворення міцних дисульфідних зв'язків між ними. Під час танення вода проникає до клітин, розсуваючи молекули білків. Але внаслідок цього рвуться не міцні дисульфідні зв'язки, а слабкі водневі, що спричиняє розгортання спіралеподібних молекул білків та їх денатурацію.

Встановлено, що внаслідок повільного заморожування понад 70 % клітин значно пошкоджуються і тканини втрачають свою структуру. Оскільки зі зростанням концентрації клітинних розчинів зростає осмотичний тиск, весь комплекс розглянутих явищ отримав назву "осмотичний шок".

За швидкого заморожування волога не встигатиме мігрувати, і дрібні кристали льоду утворюватимуться рівномірно по всьому об'єму тканини. Також скорочується час впливу розчинів солей на білки клітин. Якщо температуру знижувати до $-120...-160^{\circ}\text{C}$ дуже швидко (понад $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$), наприклад під час заморожування малих об'єктів у скрапленому азоті, то кристали льоду не встигнуть утворитися. У такому разі вода з переохолодженого перейде у склоподібний стан (процес вітрифікації). Основна маса речовини не матиме кристалічної решітки, молекули у ній розміщуватимуться хаотично (як у рідині), хоч і будуть наявні дрібні кристали льоду. Проте речовина матиме певні властивості твердого тіла, зокрема твердість. Склоподібний стан речовини можна зберегти при температурах нижче -130°C .

Для застосування швидкого та надшвидкого заморожування використовують захисні речовини – кріопротектори (гліцерин, цукровий сироп, поліетиленоксид, етиленгліколь). Вважається, що вони зміцнюють водневі містки у молекулах білка та зв'язки води з молекулами білків. Частка вимороженої води при цьому знизиться.

Встановлено, що за швидкого та надшвидкого заморожування органічні

речовини та деякі біологічні об'єкти (наприклад яєчний жовток, ферменти) повніше зберігають свої властивості та структуру. Вітрифікація та подальша девітрифікація (перехід зі склоподібного до рідкого стану) після швидкого нагрівання у теплій ртуті дають можливість зберегти життєздатність біологічних об'єктів. Проте об'єкти, що піддавалися цим процесам стають слабшими і гірше опираються дії холоду. Нині вчені можуть вводити до стану глибокого анабіозу та виводити з нього всі одноклітинні організми, за винятком прісноводних найпростіших.

Температура замерзання тварин і рослин нижча за 0°C, бо клітинні соки містять солі. Крім того, можливе переохолодження соків. До того ж, температура замерзання соків не завжди дорівнює температурі замерзання даної живої істоти, яка часто має спроможність опиратися холоду. Найбільш чутливі до дії низьких температур одноклітинні найпростіші з голим протоплазматичним тілом, насичені водою та теплокровні тварини. Життя теплокровної тварини складної будови неможливе при низьких температурах через велику кількість рідини в її тілі, ніжність тканин і необхідність обміну речовин, що супроводжується виділенням теплоти.

У рослин життєві процеси відбуваються з меншим тепловиділенням, клітини мають простішу будову і надійний захист з клітковини. Але рослини також не витримують надто низьких температур. Хоча навіть у разі утворення кристалів льоду в клітинах рослина може деякий час залишатися живою, але згодом гине від осмотичного шоку.

Охолодження, на відміну від заморожування, сповільнює або припиняє процеси життєдіяльності лише тимчасово, після отеплення вони відновлюються (анабіоз риби). Але тривале перебування при знижених температурах призводить до холодового шоку, незворотних змін у обміні речовин та загибелі організму.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть чотири основні принципи консервування харчових продуктів. На якому з них ґрунтується холодильне зберігання?
2. Опишіть способи холодильного оброблення харчових продуктів.
3. Опишіть вплив низьких температур на мікроорганізми. Що таке лаг-фаза? Що таке холодний шок?
4. Які зміни відбуваються у клітинах при температурах, нижчих за криоскопічну? Що таке осмотичний шок? Як швидкість заморожування впливає на пошкодження клітин? Що таке вітрифікація та девітрифікація?
5. Чому рослини стійкіші до впливу холоду ніж теплокровні тварини?

3. ОХОЛОДНІ СЕРЕДОВИЩА ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Під час холодильного оброблення продукт віддає теплоту до *охолодного середовища* – середовища з нижчою, ніж у продукту, температурою, що контактує з продуктом чи його упаковкою та відводить від нього теплоту.

До охолодних середовищ ставиться ряд вимог: вони не повинні мати запаху, вступати у хімічні реакції з продуктом чи обладнанням, погіршувати товарний вигляд продукту. Охолодні середовища не повинні бути токсичними, горючими чи

вибухонебезпечними. Бажано, щоб вони були дешевими та доступними. Нині використовують газоподібні, рідкі, тверді та змішані охолодні середовища.

3.1. Газоподібні середовища

До газоподібних охолодних середовищ належать атмосферне повітря та газові суміші – регульовані (РГС), модифіковані (МГС) та ін.

Найширше використовується атмосферне повітря. Його перевагами є доступність і дешевизна, а також менший вміст домішок, що можуть змінити смакові якості продукту. Крім того, повітря, як і всі газоподібні середовища, контактує з усією поверхнею продукту, рівномірно охолоджуючи її. Недоліками повітря як охолодного середовища є малий коефіцієнт тепловіддачі до поверхні, мала питома теплоємність, а отже, великі витрати.

Повітря холодильних камер містить пил, краплини води, мікроорганізми тощо. Пил разом з мікроорганізмами, що містяться на його поверхні, осідає на стіни камери, обладнання та продукти. Тому для зменшення бактеріального забруднення продуктів повітря слід фільтрувати.

Вологе повітря можна розглядати як бінарну суміш сухого повітря та водяної пари. До складу сухого повітря входять азот (78 %), кисень (21 %), аргон (0,9 %), вуглекислий газ (0,02–0,03 %), неон, гелій, водень та інші гази у невеликих концентраціях. Вміст водяної пари характеризується різними показниками:

Вологовміст повітря – це масовий вміст водяної пари у 1 кг сухого повітря:

$$d = \frac{m_{\text{пар}}}{m_{\text{пов}}} = 0,622 \frac{p_{\text{пар}}}{p_{\text{пов}}} = 0,622 \frac{p_{\text{пар}}}{B - p_{\text{пар}}}, \quad (6)$$

де $m_{\text{пар}}$, $m_{\text{пов}}$ – маси відповідно водяної пари та сухого повітря, кг, B – барометричний тиск, Па; $p_{\text{пар}}$, $p_{\text{пов}}$ – парціальні тиски відповідно водяної пари та сухого повітря, Па.

Відносна вологість повітря – відношенням парціального тиску водяної пари у повітрі до тиску насичення водяної пари за даної температури.

$$\phi = \frac{p_{\text{пар}}}{p''_{\text{пар}}}. \quad (7)$$

Густина вологого повітря визначається як сума мас сухого повітря та водяної пари у 1 м³ суміші:

$$\rho_{\text{в.п}} = \frac{B}{0,287T} \left(\frac{1+d}{1+1,61d} \right) = \rho_{\text{пов}} \left(\frac{1+d}{1+1,61d} \right). \quad (8)$$

Питома теплоємність вологого повітря – це кількість теплоти, яку необхідно підвести до 1 кг сухого повітря, що еквівалентно (1+d) кг вологого повітря, для нагрівання його на 1 К за сталого вологовмісту:

$$c_{\text{вп}} = c_{\text{пов}} + dc_{\text{пар}} = 1,006 + 1,87 \cdot d \quad (9)$$

де $c_{\text{пар}}$, $c_{\text{пов}}$ – питомі теплоємності відповідно водяної пари та сухого повітря, кДж/(кг·К).

Питома ентальпія – кількість теплоти, що міститься у повітрі, віднесена до 1

кг сухого повітря. За початкову точку відліку приймають питому ентальпію сухого повітря при 0 °С. Питому ентальпію вологого повітря визначають за формулою

$$h = c_{\text{пов}}t + (r + c_{\text{пар}}t)d = 1,006t + (2501 + 1,87t)d \quad (10)$$

Теплопровідність вологого повітря за температур $-50 \dots 50$ °С ($d < 0,04$ кг/кг):

$$\lambda = 0,024 + 0,8 \cdot 10^{-4}t \quad (11)$$

Для малих вологовмістів, характерних холодильній технології, динамічну в'язкість вологого повітря вважають такою самою, як і сухого і визначають з рівняння Созерленда:

$$\mu \cdot 10^5 = 1,72 \frac{397}{T + 124} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (12)$$

Для аналізу процесів оброблення вологого повітря використовують h - d -діаграму вологого повітря, що є графічною інтерпретацією рівняння (10). За нею можна визначити всі параметри повітря за будь-якими двома відомими.

Під час випаровування води з вологої поверхні поглинається теплота випаровування r . Ця теплота відводиться від поверхні, тому у разі відсутності теплонадходжень волога поверхня матиме нижчу температуру, ніж суха, що перебуває у таких самих умовах теплообміну. Температура вологої поверхні називається *температурою мокрого термометра*. Різниця між температурою повітря та температурою мокрого термометра називається *психрометричною різницею*. Вона залежить від інтенсивності випаровування вологи і зростає у міру осушення повітря. Для визначення температури мокрого термометра користуються h - d -діаграмою (рис. 4, а). З точки 1, що характеризує початковий стан повітря слід провести ізоентальпу до перетину з лінією насичення. Температура у точці перетину (точка 2) буде температурою мокрого термометра.

Також можемо визначити для вологого повітря точку роси, тобто температуру, при якій повітря даного вологовмісту стане насиченим вологою (рис. 4, б). Для цього з точки 1, що характеризує початковий стан повітря, слід провести вертикальну пряму до перетину з лінією насичення. Температура у точці перетину (точка 2) буде температурою точки роси.

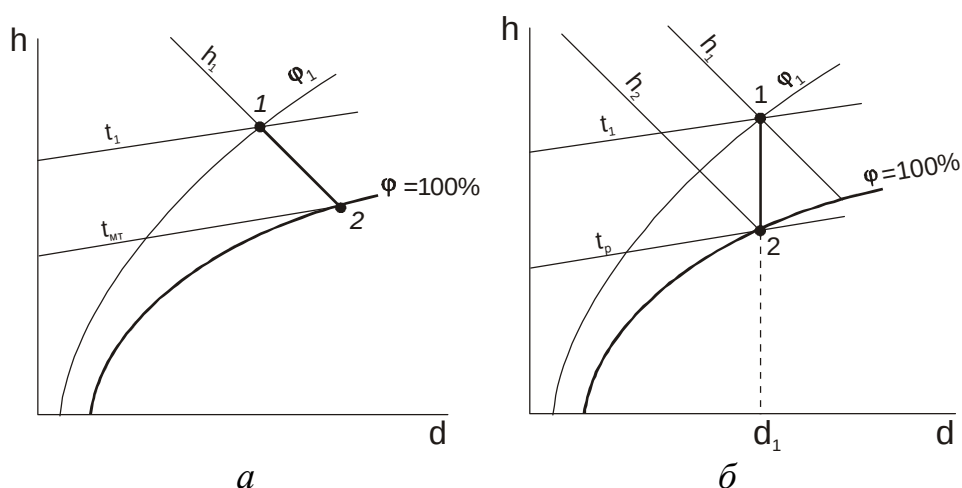


Рис. 4. Визначення температури мокрого термометра (а) та температури точки роси (б) за h - d -діаграмою

Для зображення процесу нагрівання чи охолодження повітря за сталого вологовмісту слід провести вертикальну пряму до перетину з ізотермою кінцевої температури процесу.

Під час холодильного оброблення продуктів проходить багато вологообмінних процесів: дифузія вологи у повітрі, випаровування вологи з поверхні продуктів та її конденсація з вологого повітря, сублімація, взаємодія повітря з розсолом тощо. Для холодильної технології одним із найважливіших процесів вологообміну є всихання – випаровування води у вологе повітря з поверхні продукту. Витрату води, що випаровується, визначають за формулою

$$m_{\text{п}} = \beta (p_{\text{пр}} - p''_{\text{пов}} \phi_{\text{пов}}) F \tau \quad (13)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі, віднесений до одиниці тиску, $\text{кг}/(\text{Па} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с})$; $p_{\text{пр}}$ – парціальний тиск водяної пари над поверхнею продукту, Па ; $p''_{\text{пов}}$ – тиск насичення водяної пари у повітрі, Па ; $\phi_{\text{пов}}$ – відносна вологість повітря; F – площа поверхні, м^2 ; τ – час, с .

Залежно від співвідношення між температурою продукту, що надходить до камери, та станом повітря у ній волога випаровуватиметься з поверхні продуктів (наприклад під час надходження продуктів у камеру охолодження) чи конденсуватиметься на ній (наприклад під час перенесення замороженого продукту до камери зберігання чи до теплішого приміщення, коли температура поверхні продукту нижча за температуру точки роси). На кількість вологи, що випаровується (конденсується), впливають величина вільної поверхні продуктів, способи їх укладання у штабелі, наявність упаковки.

До камери постійно надходить волога: за рахунок випаровування з продуктів, з навколишнього повітря, від людей. З іншого боку волога постійно конденсується чи десублімується на поверхні охолоджувальних пристроїв, температура яких нижча за температуру повітря. У камерах зберігання, як правило, конденсація вологи на приладах охолодження перевищує вологонадходження, тому для підтримання вологісного режиму слід зволожувати повітря у камері. Для цього у камеру подають тонко розпилену воду чи водяну пару. Оптимальна температура та відносна вологість повітря, що тісно пов'язані між собою, підтримуються за допомогою їх автоматичного регулювання. Можливий зворотний варіант – надходження вологи перевищує відведення. Тоді зайву вологу слід видаляти з камери, щоб не зростав вологовміст повітря.

Крім повітря використовують також інші гази та газові середовища.

Вуглекислий газ (CO_2) – застосовують за всіх методів холодильного оброблення, а також у поєднанні з іншими методами консервування. Він пригнічує розвиток мікроорганізмів (плісняви, бактерій). CO_2 добре розчиняється у жирах та, не реагуючи з ними, витісняє кисень, уповільнюючи окиснення жирів. Після переміщення продукту до атмосферного повітря CO_2 легко десорбується. CO_2 використовують для охолодження та заморожування свіжого м'яса та м'ясопродуктів, птиці.

Газоподібний азот (N_2) – утворюється після випаровування скрапленого азоту. Він так само, як і вуглекислий газ, витісняє з продукту кисень, уповільнює

окиснення та пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів. Незважаючи на порівняно високу вартість, його застосовують у холодильному транспорті, а також для створення газових середовищ.

Регульовані газові середовища (РГС, за міжнародною термінологією СА – controlled atmosphere) – це газові суміші з різною концентрацією кисню, вуглекислого газу й азоту, склад яких підтримується сталим шляхом регулювання. Їх основу становить азот, концентрація якого в суміші 79–97%. РГС найчастіше використовується для зберігання фруктів та овочів.

Модифіковані газові середовища (МГС, попередньо приготовані, за міжнародною термінологією МА – modified atmosphere) – за складом подібні до РГС. Їх створюють всередині герметичної упаковки одноразово під час пакування, а, впродовж зберігання їх склад не змінюють. Такі середовища застосовують для короткотермінового зберігання м'ясних і молочних продуктів, хлібобулочних виробів найчастіше у роздрібному продажі.

Саморегульовані газові середовища (СГС, за міжнародною термінологією SCA – self-controlled atmosphere) – створюються завдяки процесам життєдіяльності продуктів, зокрема диханню. Для цього використовують газоселективні мембрани, зокрема полімерні плівки. Такі середовища використовують для зберігання насамперед плодоовочевої продукції, а також сирів. У вітчизняній практиці через мале поширення попередньо приготованих модифікованих газових середовищ саморегульовані газові середовища також називають модифікованими (МГС).

3.2. Рідкі середовища

До рідких охолодних середовищ належать вода, водні розчини солей натрію, кальцію та магнію, гліколі, фреони, скраплені гази (насамперед азот). Їх основними перевагами порівняно з газовими середовищами є вищі теплоємність і теплопровідність, вищий коефіцієнт тепловіддачі до поверхні продукту. Охолодження здійснюється способом занурення чи зрошування.

Для охолодження найчастіше використовують льодяну воду (з температурою 0–1°C), охолоджену у спеціальних холодильних установках – чіллерах. Перевагами води є велика теплоємність (4,19 кДж/(кг·К)), дешевизна, менша, ніж у розчинів, корозійна активність, відсутність шкідливого впливу на більшість продуктів. Проте зниження температури нижче 0 °C призводить до замерзання води зі збільшенням її об'єму, через що можливе руйнування обладнання. Тому воду використовують лише при додатних температурах.

Льодоводяні суміші готують із води та подрібненого льоду. Перевагою льодоводяної суміші є те, що її температура (0 °C) не змінюється доти, доки не розплавиться лід. Таким чином забезпечується вища швидкість охолодження порівняно з водою. Лід для суміші виготовляють за допомогою льодогенераторів заздалегідь (акумулявання холоду) чи виморожують з потоку води (розсолу) та сколюють лід назад у потік. На шляху до теплообмінного апарата льодяна вода (розсіл) буде охолоджена до необхідних температур за рахунок танення льоду. Так можна ефективно охолодити молоко, пиво, сік тощо до температур 2–3°C і нижчих.

Суттєвих переваг можна досягти, якщо через канал теплообмінника рухається двофазна суміш “вода (розсіл) – лускоподібний лід”. При цьому з боку такої суміші коефіцієнт тепловіддачі становить 2000–4000 Вт/(м²·К) – значення, характерні для процесів безпосереднього кипіння холодоагентів. Крім того, температура холодоносія в теплообміннику залишається сталою. Недоліком такої системи є можливість утворення льодяних пробок у трубопроводах та теплообмінних каналах.

В охолоджених водних розчинах нижче від температури початку кристалізації води утворюються мікроскопічні кристали льоду, що не заважають транспортуванню двофазної льодорідинної суспензії трубопроводами. Такий холодоносіє, що найчастіше називають айссларрі (ice-slurry), одержують із морської води, водних розчинів солей, гліколів, спиртів. Рідка фаза розділяє кристали льоду, що дає можливість уникнути утворення сніжних грудок і перекачувати суспензії, що містять до 60 % (за масою) льоду у вигляді кристалів розміром від 10 до 450 мкм. Частка льоду та розмір кристалів залежать від багатьох факторів, насамперед від конструкції льодогенератора, швидкості течії розчину, концентрації розчинених речовин, тривалості перебування кристалів у розчині, умов теплообміну тощо. За розрахунками теплопровідність і в'язкість айссларрі при частці льоду близько 15 % вищі від значень тих самих властивостей для однофазного розчину на 50%.

З використанням айссларрі як охолодженого середовища чи холодоносія можна забезпечити у 3–5 разів більшу холодопродуктивність, ніж з використанням води чи розчинів, до 50 % зменшити діаметри відповідних трубопроводів, зменшити кількість холодоносія у холодильній системі, створити більш стабільні температурні режими холодопостачання. Такі середовища дають можливість підтримувати більш рівномірне температурне поле порівняно з грудковим льодом.

Для від'ємних температур використовують розчини солей (розсоли), що є подвійними системами, бо складаються з води та розчиненої солі. Їх стан визначається діаграмами стану (рис. 5).

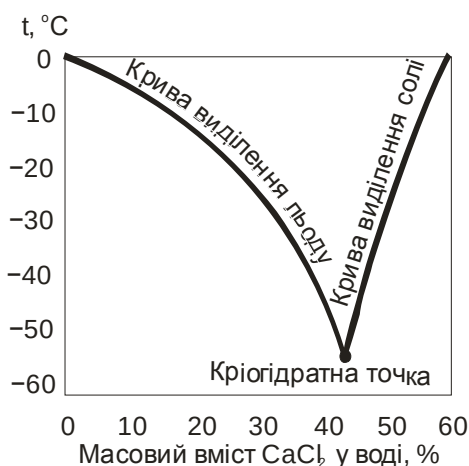


Рис. 5. Діаграма стану розчину CaCl_2

Під час охолодження розчину певної концентрації при досягненні температури, що відповідає кривій виділення льоду чи солі, з розчину починається виділення відповідного компонента. При цьому змінюватиметься концентрація

розчину. Якщо заморозувати розчин з концентрацією, нижчою за евтектичну, спочатку почнеться виділення льоду, при цьому концентрація рідкої фази розчину зростатиме, відповідно температура її кристалізації знижуватиметься. У разі заморозування розчину з концентрацією, вищою за евтектичну, з розчину виділятиметься сіль за рахунок зниження її розчинності, а концентрація рідкої фази зменшуватиметься. З досягненням температури криогідратної точки відбудеться замерзання розчину у вигляді однорідної суміші обох компонентів, що називається *евтектикою*. Концентрацію у цій точці називають *евтектичною*, а розчин такої концентрації – *евтектичним*.

Для холодильного оброблення харчових продуктів використовують розчини солей, наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Параметри евтектичних розчинів солей			
Назва показника	Розчин		
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂
Евтектична концентрація, %	22,4	29,8	21,6
Температура замерзання, °C	-21,2	-55	-33,6

Розчини є електролітами, тому мають високу корозійну активність, особливо на межі “метал–повітря–розсін”. При цьому меншу корозійну активність мають розчини, приготовлені на основі дистильованої води, ніж на основі водопровідної (у декілька разів). Наявність аніонів хлору в присутності катіонів заліза, міді надає розсолам корозійних властивостей, при яких псуються деталі, виготовлені з міді, латуні і навіть із неіржавіючої сталі. Металеві поверхні піддаються точковій і виразковій корозії, швидкість якої може сягати 1,5 мм/рік, причому часто трапляється нерівномірність корозії трубопроводів, теплообмінного обладнання, особливо за виразкової корозії. Великої шкоди завдає електрохімічна корозія, зокрема за наявності електропровідного контакту системи циркуляції розсолу з ґрунтами під підприємством, де утворюються сильні, нерівномірні електричні поля та блукаючі електричні струми. Внаслідок дії різних видів корозії термін експлуатації окремих елементів холодильної установки зменшується. Для пригнічення корозійної активності в розсоли, крім основної солі, додають антикорозійні речовини – інгібітори, пасиватори (силікат натрію, хромова суміш та ін.). При цьому швидкість корозії зменшується до 0,1 мм/рік і менше.

Розсоли та антикорозійні добавки в них можуть бути токсичні чи небезпечні для довкілля. Для контролю витікання розсолів у довкілля до них додають різні барвники, частіше синтетичного походження. Слід контролювати чистоту солі, що закупається для приготування розчину-холодоносія.

У разі контакту з продуктом, що має вищу температуру, ніж розчин, шар розсолу поблизу поверхні продукту відхиляється від кривої початку замерзання і відбувається дифузія солі у поверхневий шар продукту, що спричиняє погіршення смакових якостей продукту. Для уникнення цього продукт ізолюють від середовища

за допомогою металевих форм чи герметичної полімерної тари.

Гліколі – це жирні спирти, водні розчини яких мають низьку температуру замерзання. Вони менш агресивні до металів, але мають вищу в'язкість і нижчу теплопровідність. Розчини гліколів використовуються у системах швидкого заморожування упакованих продуктів.

Етиленгліколь – слабоотруйна речовина, без запаху, змішується з водою у будь-яких співвідношеннях, температура замерзання чистого етиленгліколю – $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а його 70%-го розчину у воді $-67,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пропіленгліколь – безбарвна густа рідина зі слабким характерним запахом, змішується з водою та етиловим спиртом, має гігроскопічні властивості, нетоксичний, використовується як харчова добавка (E1520). Пропіленгліколь у водних розчинах не взаємодіє з металами. Водні розчини пропіленгліколю використовують у температурному діапазоні $-50\ldots-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. У харчових виробництвах цей холодоносіє виявився найбільш конкурентоспроможним у діапазоні температур $-20\ldots-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пропіленгліколь є поверхнево-активною речовиною, сприяє вимиванню відкладень на стінках обладнання в розчин.

Для швидкого заморожування особливо цінних продуктів застосовують скраплені гази (кріорідини), найчастіше азот. Замороження здійснюють зрошуванням або зануренням у кріогенних швидкоморозильних апаратах. Низькі температури кипіння кріорідин та інтенсивна тепловіддача при цьому дають можливість швидко заморозити продукт з мінімальною втратою його якості. Проте значним недоліком кріорідин є їх висока вартість.

3.3. Тверді середовища.

Найчастіше у харчовій промисловості використовують водяний лід. Температура його плавлення за атмосферного тиску становить $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, питома теплота плавлення – 335 кДж/кг , густина – 917 кг/м^3 , питома теплоємність – $2,1\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, теплопровідність – $2,3\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$. При замерзанні води її об'єм зростає на 9 %.

Природний лід заготовлюють шляхом випилювання великих блоків із водойм, наморожування на горизонтальних майданчиках, вирощування сталактитів. Його зберігають у льодосховищах з постійною чи тимчасовою теплоізоляцією. Штучний лід одержують за допомогою льодогенераторів, у яких заморожують очищену воду.

Форма, розмір, якість і спосіб отримання льоду залежать від його призначення. Матовий лід, приготований з питної води без оброблення, містить дрібні бульбашки повітря, що утворилися в процесі замерзання внаслідок десорбції з води. Прозорий лід (для охолодження напоїв) не містить бульбашок повітря. Під час його виготовлення форма продувається стисненим повітрям, що виділяє розчинене повітря з води і виносить з собою. Для охолодження птиці, риби, м'яса використовують лід з додаванням бактерицидних речовин, що зменшують обсіменіння продукту мікроорганізмами. У льодогенераторах виготовляють різні види льоду.

Трубчастий лід виготовляють у кожухотрубних льодогенераторах, у міжтрубному просторі яких кипить аміак, а до вертикальних труб через насадки подається вода, що плівкою стікає донизу і частково замерзає. Вода, що не замерзла, поверта-

ється до верхнього резервуара. Завдяки безперервній циркуляції з води видаляється повітря і лід утворюється у вигляді прозорих циліндрів з товщиною стінки 4–8 мм, які після відтанення сповзають донизу. Їх розрізають на куски потрібної довжини.

Лускоподібний лід виготовляють у барабанних льодогенераторах. Вони являють собою охолоджуваний барабан, що обертається, на який розпилюється вода. На поверхні барабана швидко утворюється шар тонкого льоду, який зрізається ножем. Такий лід, що має вигляд тонких пластинок, використовують для охолодження риби, м'яса, ковбасних виробів, деяких плодів та овочів.

Сніговий лід виготовляють розпилюванням води у посудині, при низькій температурі. Його використовують у тих самих випадках, що й лускоподібний.

Льодосоляні суміші давно використовують для одержання температур нижче 0 °С. Змішуванням водяного льоду та солей (NaCl, CaCl₂) у певних співвідношеннях можна досягти температур плавлення суміші аж до криогідратної точки. Під час контакту льодосоляної суміші з неупакованим продуктом поверхневі шари продукту просолюються, що змінює його смак і стимулює окиснення жирів. Для уникнення цього використовують заморожені евтектичні розчини у металевих формах. Їх розміщують у охолоджуваному об'ємі, а після танення льоду та отеплення знову заморожують.

Сухий лід – це твердий діоксид вуглецю. Температура його сублімації за атмосферного тиску становить –78,9°С; теплота сублімації 574 кДж/кг, а густина 1400–1500 кг/м³. За тиску нижче 0,528 МПа він може перебувати лише у твердому та газоподібному станах. Під час підведення теплоти до сухого льоду за атмосферного тиску йде процес його переходу одразу до газоподібного стану (сублімація). Сухий лід найчастіше отримують шляхом дроселювання газоподібного СО₂ з тиску 2–3 МПа до атмосферного. Кристали сухого льоду з температурою –79 °С відділяють від газу і пресують у вигляді блоків.

Одиниця об'єму сухого льоду дає втричі більшу холодопродуктивність, ніж водяного, що дає можливість ефективніше використовувати об'єм охолоджуваних приміщень чи тари. Інші його переваги перед водним льодом: можливість досягнення нижчої температури, відсутність рідкої фази в процесі холодильного оброблення, підвищення вмісту СО₂ у атмосфері камери, що пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів і уповільнює окиснення продукту. Сухий лід кладуть зверху та між упаковками продукту під час зберігання, перевезення та продажу морозива, ягід, фруктів. У безмашинних системах охолодження використовують металеві контейнери, наповнені сухим льодом, причому газоподібний СО₂, що утворюється, відводять до камери, пригнічуючи діяльність мікроорганізмів.

У швидкоморозильних апаратах використовують металеві плити, всередині яких циркулює холодоагент. Найчастіше використовують сталь, чавун, алюміній та його сплави, мідь. Перевагами металів, як охолодних середовищ, є високі коефіцієнти тепло- та температуропровідності, хімічна стійкість щодо продуктів, легкість механічного оброблення. Основний недолік – складність забезпечення рівномірного контакту з усією поверхнею продукту.

Під час заморожування ягід, овочів, напівфабрикатів у киплячому шарі як

оохолодне середовище іноді використовують дрібнодисперсні середовища: подрібнений лід, дрібні полімерні кульки, а також спеціальні суміші (наприклад, суміш манної крупи, цукру, солі та подрібненого льоду). Таке середовище під впливом потоку повітря, що з певною швидкістю продувається крізь нього знизу догори, переходить у завислий стан і утворює киплячий шар, крізь який рухається продукт. У цьому шарі теплообмін відбувається значно інтенсивніше, ніж у повітрі.

3.4. Прилади для вимірювання та контролю параметрів оохолодних середовищ і продуктів

Для контролю температури оохолодного середовища та продуктів застосовують рідинні, металеві, електричні та електронні термометри, а також термометри на рідких кристалах. Для реєстрації температури впродовж зберігання чи транспортування використовують термографи та термоіндикатори.

Термографи застосовують для безперервної графічної реєстрації температури у камерах зберігання. Вони складаються з термометра (датчика) та реєстраційного пристрою. *Термоіндикатори* призначені лише для фіксації факту підвищення температури понад заданий рівень (наприклад під час транспортування).

Відносна вологість повітря вимірюється психрометрами та гігрометрами.

Психрометричний метод ґрунтується на залежності швидкості випаровування води з поверхні від відносної вологості повітря. Психрометр складається з сухого та мокрого термометрів. У мокрого термометра кулька обмотана змоченою у воді тканиною (марля, батист). У разі зниження відносної вологості за рахунок прискорення випаровування води та інтенсивнішого відведення теплоти від кульки термометр показуватиме нижчу температуру. За температурою сухого термометра та різницею показань двох термометрів за таблицями визначають відносну вологість повітря. Психрометри використовують при температурах вище -5°C . Для прискорення вимірювань використовують психрометр з примусовою циркуляцією повітря – аспіраційний психрометр Ассмана, у якому кульки термометра обдуваються повітрям за допомогою вентилятора з пружинним чи електричним приводом.

Гігрометричний метод дає змогу визначити відносну вологість повітря у інтервалі температур $-60...+40^{\circ}\text{C}$. У сорбційних гігрометрах чутливий елемент змінює свої властивості (наприклад знежирена волосина подовжується або сіль змінює електричний опір) у разі зміни вологовмісту за рахунок сорбування вологи з повітря. Інтенсивність сорбування залежить від відносної вологості повітря. Зміна властивостей фіксується безпосередньо (волосяні гігрометри) або перетворюється на електричний сигнал і виводиться на шкалу, проградуєвану в одиницях відносної вологості. Для безперервної реєстрації відносної вологості у камерах зберігання використовують гігрографи, у яких наявний реєструвальний пристрій.

Для вимірювання швидкості руху повітря $1\text{--}50$ м/с призначені чашкові анемометри, а крильчасті – $0,1\text{--}4$ м/с. Принцип їх дії подібний: вимірюється частота обертання крильчатки потоком повітря, що пропорційна швидкості руху повітря.

Для дистанційного контролю використовують *електроанемометри*. Принцип їх дії ґрунтується на оохолодженні потоком повітря провідника, що нагрівається

сталим електричним струмом. Температуру провідника вимірюють за допомогою термопари чи визначають за його опором. Вона знижуватиметься зі зростанням швидкості руху повітря.

Переносні напівпровідникові *електротермоанемометри*, у яких роль датчика відіграє напівпровідниковий термоопір, дають змогу швидко та з високою точністю визначити температуру та малі швидкості руху повітря.

3.5. Допоміжні засоби для холодильного оброблення та зберігання

Для збереження якості, зниження втрат і збільшення терміну зберігання продуктів застосовують допоміжні засоби: ультрафіолетове та іонізуюче опромінення, зниження тиску, харчові покриття, упаковку та ін.

Ультрафіолетове опромінення значно подовжує терміни зберігання охолоджених продуктів (м'яса, яєць, напівкопчених і копчених ковбасних виробів, сирів, цитрусових плодів та ін.). Під його впливом зростання мікрофлори різко сповільнюється (бактеріостатичний ефект), що залежить від дози опромінення та стану середовища. Зі зниженням температури тривалість цього ефекту зростає.

Іонізуюче опромінення завдяки високій енергії здатне викликати іонізацію атомів і молекул. При цьому в продуктах виникають хімічні перетворення, пов'язані насамперед з іонізацією води, утворенням вільних радикалів з високою хімічною активністю, що призводять до змін у клітинах. За певної дози ІВ пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів.

Антисептики пригнічують мікроорганізми. Надходячи до клітини, вони взаємодіють з білками протоплазми, що призводить до загибелі клітини. Важливо, щоб антисептики були нешкідливими для людини і мінімально змінювали споживчі властивості продуктів. Використовують сорбінову та бензойну кислоти, перекис водню, діоксид сірки та ін.

Озон (O_3) завдяки високій хімічній активності окиснює ароматичні речовини та призводить до загибелі мікроорганізмів. Оброблення озоном застосовують для дезінфекції та дезодорації повітря (знищення неприємних запахів), сухої, холодної дезінфекції технологічних приміщень, складів, холодильних камер, технологічного обладнання (місткостей і трубопроводів), знищення плісняви. У разі дезінфекції озонуванням приблизно в п'ять разів скорочується тривалість простоювання камер порівняно з "мочною" дезінфекцією, скорочується трудомісткість. Озонування не потребує розморожування холодильних камер, застосування хлоровмісних засобів.

Надзвичайно важливу роль у процесі зберігання відіграє упаковка продукту. Її наявність дає можливість усунути або зменшити контакт продукту з навколишнім повітрям. Упаковка є основним джерелом інформації про продукт для споживача. Упакований продукт має кращий вигляд, зручніший для перевезень і продажу.

Різноманітність харчових продуктів спричиняє різноманітність видів упаковки та різні вимоги до неї. Для упакування охолоджених і заморожених продуктів широко використовують *папір і картон* або лотки з пресованої целюлози (для яєць, деяких фруктів). Папір легко обробляти та утилізувати, наносити інформацію, упаковка має привабливий зовнішній вигляд та низьку вартість. Папір як

пакувальний матеріал має ряд недоліків: він проникний для води і водяної пари, газів, жиру, легко адсорбує сторонні запахи, нестійкий до впливу мікроорганізмів. Папір, підданий хімічній обробці (пергамін) міцніший, не так швидко поглинає воду, але дуже легко пропускає водяну пару і гази. Для усунення цих недоліків папір просочують парафіном, вкривають лаком або полімерною плівкою. Паперова та картонна упаковка часто використовується у комбінації з іншими видами.

Целофан – вологопроникна прозора плівка густиною 15–60 г/м², що виготовляється з целюлози. Використовується для упакування харчових продуктів. Також може входити до складу комбінованих упаковок (картонна коробка з целофановим віконцем, картонна коробка, обгорнута целофановою плівкою тощо).

Скляна тара традиційно використовується для рідких охолоджених продуктів (молоко, кисломолочні напої, соки тощо). Її перевагами є хімічна інертність, висока міцність, можливість повторного використання. Головним недоліком скла є крихкість. Для її зменшення пляшки обплітають полімерними матеріалами.

Для розливу напоїв, пакування та заморожування продуктів використовують *металеву упаковку*: алюмінієві банки, матеріали на базі алюмінієвої фольги, алюмінієві лотки, жерстяні банки тощо. Її перевагами є високий ступінь герметичності, можливість витіснення повітря, малий термічний опір, міцність під час транспортування, недоліками – великі енергетичні витрати на виготовлення, неефективне використання складських приміщень (у разі застосування банок циліндричної форми), висока вартість та ін.

Для упакування охолоджених і заморожених продуктів, напівфабрикатів, готових страв широко застосовують різноманітні *полімерні матеріали*. З них виготовляють плівки та плівкові пакети, лотки, коробки, пляшки, стаканчики тощо. Полімерні плівки й тара – дешевий матеріал, їх можна використати для вакуумного пакування, пакування у МГС та СГС. Полімерні пляшки й пакети можуть повторно герметизуватися споживачем, що сприяє збереженню продукту.

Полімери входять до складу *багатошарових пакувальних матеріалів*. Комбінація шарів уможлиблює створення матеріалів із заданими властивостями. Використовуються металізовані плівки з поліетилену, поліаміду, поліпропілену, ламіновані картон і папір тощо.

З полімерних матеріалів за допомогою екструзійних технологій виготовляють *спінені матеріали* (пінополістирол, пінополіуретан та ін.). Завдяки своїй поруватій структурі вони мають низький коефіцієнт теплопровідності і використовуються для виготовлення упаковок нагрітих чи охолоджених продуктів (лотки, контейнери тощо). Для зменшення проникності водяної пари та повітря, а також для зменшення радіаційного теплообміну вироби зі спіненого матеріалу вкривають фольгою.

Для утворення оболонки, яка б щільно прилягала до поверхні і легко видалялася споживачем застосовують питну воду, яка у процесі заморожування утворює на поверхні продукту (цінної риби, овочів) тонкий шар *льоду*. Лід оберігає продукт не тільки від шкідливих зовнішніх чинників, зокрема кисню повітря, але і від втрат маси через усихання. Додавання до води бактерицидних речовин чи антиокисників додатково сприяє збереженню якості продукту.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке охолодне середовище? Які вимоги ставляться до охолодних середовищ у харчовій промисловості?
2. У чому полягають переваги та недоліки повітря як охолодного середовища? Якими показниками характеризується його стан? У чому полягають переваги вуглекислого газу та азоту як охолодних середовищ?
3. Що таке регульовані газові середовища? Для яких продуктів застосовують саморегульовані газові середовища? У чому полягають їх переваги над регульованими газовими середовищами та повітрям?
4. Для яких способів холодильного оброблення доцільно застосовувати рідкі охолодні середовища? У чому їх переваги та недоліки порівняно з газоподібними?
5. Як іде процес заморожування розчинів різної концентрації у Т–с-діаграмі? Що таке кріогідратна точка? Що таке евтектична концентрація?
6. Опишіть тверді охолодні середовища, що використовуються у харчовій промисловості.
7. Які прилади використовують для контролю температури, відносної вологості та швидкості руху повітря?
8. Як впливає ультрафіолетове опромінення на мікроорганізми та термін зберігання продуктів?
9. У чому полягає позитивний вплив озонування?
10. Які види упаковки використовуються для пакування охолоджених і заморожених продуктів?

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

4. ОХОЛОДЖЕННЯ

4.1. Загальні відомості

Охолодження продуктів полягає у зниженні їх температури шляхом теплообміну з охолодним середовищем, але без льодоутворення, тобто до температури не нижче за криоскопічну.

Зазвичай охолодження здійснюють до температури у товщі продукту 0–4 °С. Завдяки цьому створюються несприятливі умови для розвитку мікроорганізмів і деактивуються ферменти, що приводить до сповільнення біохімічних та мікробіологічних процесів, отже продукт протягом зберігання зазнає мінімальних змін.

Охолодження забезпечує збереження високих споживчих властивостей продуктів (аромату, смаку, консистенції, кольору). Тому, якщо планований термін зберігання невеликий, продукти випускають у охолоджену вигляді. Проте охолоджені продукти не підлягають тривалому зберіганню, бо при температурах, близьких до криоскопічної, багато видів шкідливих мікроорганізмів активно розвиваються і продукт може швидко зіпсуватися. Нині на базі комбінованих методів консервування вдається значно подовжити терміни зберігання охолоджених продуктів.

Для досягнення найкращого результату продукт слід охолодити якомога швидше після вироблення. Швидкість охолодження продуктів залежить від: властивостей охолодного середовища (агрегатний стан, температура, відносна вологість, швидкість руху); розмірів і маси продукту; величини та стану поверхні охолоджуваного продукту; інтенсивності тепловіддачі з поверхні продукту; швидкості поширення теплоти у продукті, що визначається коефіцієнтом температуропровідності продукту; початкового та кінцевого розподілів температур у продукті.

Конкретні режими охолодження для кожної групи продуктів визначають з урахуванням їх криоскопічної температури, складу, властивостей, мікроструктури, біохімічних процесів, а також призначення та економічності.

4.2. Способи охолодження

Відомі способи охолодження можна поділити на три групи: повітряне, рідиною чи льодоводяною сумішшю та газами. Кожен спосіб оцінюють з різних точок зору – насамперед якості отриманого продукту та економічності.

Охолодження в потоці холодного повітря здійснюють у холодильних камерах чи тунелях на ґратчастих візках або у підвішеному стані. Продукт (наприклад м'ясні напівтуші) безперервно транспортують крізь тунель. Можливе охолодження дрібних продуктів на перфорованій основі у завислому стані у потоці холодного повітря (флюїдизаційні апарати). Температура повітря становить $t_{\text{пов}} = -10 \dots -4$ °С, швидкість руху повітря $w_{\text{пов}} = 2 \text{--} 10$ м/с. Харчові продукти найчастіше охолоджують у повітрі, незважаючи на малі коефіцієнти тепловіддачі під час цього процесу. Причиною цього є безкоштовність і доступність повітря.

Зрошувальне охолодження відбувається під час зрошення продукту водою чи розчином за допомогою спеціальних зрошувальних систем (наприклад ротаційні

системи періодичної дії). Продукт безперервно рухається на транспортній стрічці чи у підвішеному стані. Температура зрошувальної рідини становить від -15°C (розчини гліколів) до $+15^{\circ}\text{C}$ (вода). У разі використання середовищ з температурою нижче 0°C можливе часткове підмороження поверхні продукту.

Повітряно-зрошувальне охолодження передбачає поєднання двох попередніх способів: у окремих приміщеннях чи у одному по черзі. Температура зрошувальної рідини становить не нижче -15°C . За рахунок випаровування води з поверхні продукту під час обдування повітрям відводиться додаткова кількість теплоти.

Для охолодження зануренням використовують воду, розсоли, льодосоляні суміші. Температура рідини становить $-2...+4^{\circ}\text{C}$. Продукт транспортують крізь одну чи кілька посудин шнековим транспортером чи у підвішеному стані.

Охолодження льодом, що тане відбувається у ваннах з лускоподібним льодом, куди занурюють продукт (риба, птиця, овочі). Під час танення льодоводяна суміш добре контактує з продуктом, інтенсивно відбираючи від нього тепло. Також використовують безпосереднє додавання лускоподібного льоду до продуктів з метою охолодження (тісто, ковбасний фарш). Вода, що утворюється під час танення, розподіляється всередині продукту.

Контактне охолодження здійснюють у апаратах, де продукт перебуває між металевими пластинами, що охолоджують льодяною водою, розсолом чи безпосередньо холодоагентом. Перевагою цього способу є високий коефіцієнт теплопередачі та незначне всихання продукту.

Вакуумне охолодження здійснюється за рахунок самовипаровування води з продукту під час регульованого зниження тиску. Відбувається швидко, проте продукт частково втрачає вологу, а отже масу.

Охолодження скрапленими газами використовують для безмашинних систем холодильного оброблення. Таке охолодження здійснюють у спеціальних апаратах, куди подається скраплений азот. Продукт контактує лише з газоподібною фазою, причому її температура повинна ретельно регулюватися, щоб не допустити підмерзання поверхні продукту. Можливе охолодження розпорошенням певної кількості твердого CO_2 (сухого льоду) на поверхню продукту. У цьому разі відбувається часткове підмороження поверхні продукту. Під час оброблення азотом чи CO_2 пригнічується поверхнева мікрофлора продукту, що сприяє подальшому зберіганню.

Охолодження в теплообмінниках (кожухотрубні, пластинчасті, охолодні оболонки у збірниках) застосовують для харчових рідин малої в'язкості. Сипкі та в'язкі продукти (зокрема кисломолочний сир) охолоджують у барабанних охолодниках зі скребками. Для охолодження застосовують воду, льодоводяні суміші, розсоли, розчини гліколів. Інколи використовують охолодження киплячим холодоагентом, без використання проміжних холодоносіїв.

4.3. Тепловий розрахунок процесу охолодження

До розрахунку процесу охолодження входять розрахунки тривалості охолодження, температурного поля всередині тіла, кількості відведеної теплоти. Тривалість охолодження важлива для розрахунку режиму роботи холодильного

обладнання, оцінювання ефективності його роботи. Вона залежить від швидкості охолодження. Найбільш тривале повітряне охолодження, найшвидше – вакуумне. Температурне поле тіла у будь-який момент часу слід знати для контролю режиму охолодження, а кількість відведеної теплоти – для розрахунку обладнання (у камері охолодження, вона становить основну частку теплового навантаження).

Зазначені величини можна визначити за допомогою декількох методів, що різняться точністю та трудомісткістю. Слід пам'ятати, що всі методи розрахунку процесу охолодження дають значну похибку (від 10 до 20 %) через відмінність теплофізичних властивостей реального продукту від розрахункових.

Тривалість охолодження можна визначити аналітичним методом, розв'язавши диференціальне рівняння теплопровідності (рівняння Фур'є)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t \quad (14)$$

за певних граничних і початкових умов. З нього ж можна визначити розподіл температур у тілі в будь-який момент часу.

Для розрахунків потрібні теплофізичні властивості продукту (їх визначають за довідковою літературою), а також коефіцієнт тепловіддачі α , який слід визначати за розрахунковими залежностями. Для охолодження у повітрі його можна наближено знайти за залежністю Юргенса:

$$\alpha = 1,16 (5,3 + 3,6w), \quad (15)$$

де w – швидкість руху повітря поблизу поверхні продукту, м/с.

Для наближених розрахунків коефіцієнт тепловіддачі від продукту до рідини за природної конвекції можна прийняти рівним 200–230 Вт/(м²·К), за швидкості руху рідини 0,5 м/с – 1000 Вт/(м²·К).

Під час розрахунку тривалості охолодження упакованих продуктів слід враховувати термічні опори шарів упаковки та повітряних прошарків.

Кількість теплоти, відведена від тіла під час його охолодження:

$$Q = m(\bar{h}_n - \bar{h}_k). \quad (16)$$

де $\bar{h}_n, \bar{h}_k$ – відповідно середні питомі ентальпії продукту до та після охолодження.

Слід зазначити, що під час охолодження неупакованих продуктів у повітрі з їх поверхні випаровується волога, відводячи теплоту. Ця волога згодом конденсується чи десублімується на приладах охолодження. Через відмінність температур поверхонь продукту та охолодних пристроїв процеси випаровування та конденсації вологи відбуваються за різних парціальних тисків водяної пари, а отже і питома теплота цих фазових переходів буде дещо відмінною. Таким чином, загальна кількість теплоти, що має бути сприйнята охолодними пристроями, становить

$$Q = m(\bar{h}_n - \bar{h}) + \delta m(r_k - r_b), \quad (17)$$

де r_k та r_b – відповідно питомі теплоти конденсації водяної пари на охолодних пристроях та випаровування її з поверхні продукту; δm – усушка продукту.

На практиці для визначення тривалості охолодження продуктів, форма яких наближена до правильної геометричної форми (*необмежена пластина, необмежений циліндр, куля*), користуються графічним методом. Для поверхні та

центру зазначених тіл складено діаграми, з яких за двома відомими з трьох параметрів θ , Bi , Fo можна визначити третій. Розрахунок тривалості охолодження графічним способом проводять у такому порядку:

1. Знаходять визначальний розмір R (відстань від поверхні тіла до найвіддаленішої від неї точки). Визначальним розміром для пластини буде половина її товщини, а для циліндра та кулі – їх радіус.

2. З довідкової літератури визначають теплофізичні характеристики продукту.

3. Розраховують число Біо, Bi .

4. Розраховують безрозмірнісну температуру в кінці охолодження – θ .

5. За відповідною діаграмою (див. дод. 3) знаходять число Фур'є – Fo .

6. Розраховують тривалість охолодження

$$\tau = \frac{FoR^2}{a}. \quad (18)$$

Аналітичний розрахунок, незважаючи на свою точність, порівняно громіздкий. Графічний метод розрахунку простий, але дає досить велику похибку, насамперед через суб'єктивність користування діаграмами. Тому у холодильній технології часто використовують метод регулярного теплового режиму [7]. Вважають, що за достатньо великих чисел Фур'є тепловий режим стає регулярним, при цьому температура змінюється за законом

$$t \approx t_c + (t_{\text{поч}} - t_c)Ae^{-m\tau}, \quad (19)$$

$$\text{де} \quad m = \frac{a}{R^2}\chi. \quad (20)$$

Величина m (с^{-1}) називається *темпом охолодження* і не залежить від того, у якій точці тіла здійснюється вимірювання, а безрозмірнісний коефіцієнт A залежить від температури. Використовують три коефіцієнти: для температури у центрі – $A_{\text{ц}}$, для температури на поверхні – $A_{\text{пов}}$ та для середньооб'ємної температури – $A_{\text{об}}$. Два останні пов'язані між собою коефіцієнтом нерівномірності температурного поля

$$\Psi = \frac{A_{\text{пов}}}{A_{\text{об}}} = \frac{mc_v V}{\alpha S} = \frac{\Phi}{Bi}\chi \quad (21)$$

де $\Phi = \frac{V}{SR}$ – безрозмірнісний параметр форми; χ – безрозмірнісний параметр, що залежить від форми тіла та числа Bi ; c_v – питома об'ємна теплоємність, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; V – об'єм тіла, м^3 ; S – площа поверхні тіла, м^2 ; R – визначальний розмір, м .

Величини m , $A_{\text{пов}}$, $A_{\text{об}}$ пов'язані співвідношенням (21), тобто знаючи теплофізичні та геометричні параметри тіла, за будь-якими відомими двома з них можна визначити третю.

Параметр χ можна наближено обчислити за квазіодновимірним наближенням:

$$\chi = \frac{Bi(k+1)(k+5+2\sqrt{2k+6})(Bi+\sqrt{2k+6})}{4(\sqrt{2k+6}+2+Bi)Bi+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6})}, \quad (22)$$

де $k = 1/\Phi - 1$.

Подібне співвідношення існує і для $A_{об}$:

$$A_{об} \approx \frac{(2Bi + k + 3 + \sqrt{2k + 6})^2 \sqrt{2k + 6}}{(4(\sqrt{2k + 6} + 2 + Bi)Bi + \sqrt{2k + 6}(k + 5 + 2\sqrt{2k + 6}))(k + 3)}. \quad (23)$$

Для $Bi \leq 2$ значення $A_{об}$ лежать у проміжку $0,95 < A_{об} < 1$. Тому для нагрівання чи охолодження у нерухомому повітрі можна наближено вважати $A_{об} = 1$. Якщо коефіцієнт тепловіддачі досить високий (охолодження у рідині чи у рухомому повітрі), то доцільно визначати $A_{об}$ за формулою (23). Значення $A_{пов}$ можна визначити за відомим $A_{об}$ з формули (21). Для $A_{ц}$ надійних формул немає, його рекомендують визначати за таблицею (див. дод. 4).

Тривалість охолодження до заданої температури t (на поверхні, в центрі чи середньооб'ємної) можна визначити за формулою

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left(A \frac{t_{поч} - t_c}{t - t_c} \right), \quad (24)$$

де замість A слід підставляти відповідні значення: $A_{пов}$, $A_{ц}$, $A_{об}$.

Середньооб'ємна температура та температура поверхні пов'язані співвідношенням

$$\bar{t} - t_c \approx \frac{A_{об}}{A_{пов}} (t_{пов} - t_c). \quad (25)$$

4.4. Усихання під час охолодження

Якщо охолоджувати неупакований продукт у повітряному середовищі, то з його поверхні випаровуватиметься волога. Цей процес називають *усиханням*, а відношення маси вологи, що випарувалася, до маси продукту – *усушкою*. Усихання шкідливе, бо зменшує масу продукту, незворотно погіршує його смак і харчову цінність, а також призводить до утворення снігової шуби на приладах охолодження та перевитрат електроенергії.

Усихання значно послаблюється, якщо на поверхні продукту є вологонепроникний шар (кірочка підсихання, шар жирової тканини, шкірочка). Для зменшення усихання зволожують повітря камери, пакують продукт у полімерні плівки, ламінований папір, фольгу та інші матеріали з малою вологопроникністю.

Рушійною силою усихання під час охолодження є градієнт парціальних тисків водяної пари, що пропорційні вологовмісту повітря. Масу вологи, що випарувалася за час dt на практиці розраховують за формулою:

$$dm = \beta_{пр} F_{пр} (d_{пр} - d_{ос}) dt, \quad (26)$$

де $\beta_{пр}$ – коефіцієнт масовіддачі з поверхні продукту, віднесений до різниці вологовмістів, $кг/(м^2 \cdot с)$, $F_{пр}$ – площа поверхні продукту, $м^2$; $d_{пр}$, $d_{ос}$ – вологовмісти повітря відповідно поблизу поверхні продукту та у ядрі потоку повітря, $кг/кг$.

Максимальний вологовміст повітря, $кг/кг$ (у стані насичення), обчислюють за емпіричною формулою Г.К. Філоненка:

$$d(t) = e^{\frac{10,56 - 3654}{t + 230}}, \quad (27)$$

де t – температура повітря, °С. Якщо відома відносна вологість повітря у камері ϕ ($0 < \phi < 1$), то для визначення фактичного вологовмісту слід помножити отримане значення на ϕ .

Коефіцієнт масовіддачі $\beta_{\text{пр}}$ з поверхні неупакованого продукту визначають зі співвідношення Льюїса

$$\frac{\alpha_{\text{пр}}}{\beta_{\text{пр}}} = c_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} = 1280 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (28)$$

де $c_{\text{пов}}$ та $\rho_{\text{пов}}$ – відповідно масова питома теплоємність та густина повітря; $\alpha_{\text{пр}}$ – “сухий” коефіцієнт тепловіддачі без урахування випаровування вологи.

Під час охолодження неупакованого продукту з вологою поверхнею у потоці повітря з температурою $t_{\text{ос}}$ і відносною вологістю $\phi_{\text{ос}} \approx 1$ температура поверхні продукту постійно знижуватиметься. У цьому разі повітря поблизу поверхні перебуватиме практично у стані насичення при температурі поверхні. У ядрі потоку повітря також перебуває приблизно у стані насичення, але при температурі ядра, що значно нижча. Тому вологовміст повітря біля поверхні продуктів буде вищим, ніж у ядрі потоку, отже волога мігруватиме до ядра, випаровуючись з продуктів. Таким чином, під час охолодження продукту швидкість висушання залежить насамперед від різниці температур поверхні продукту та ядра потоку повітря.

За рахунок випаровування вологи зростає відведення теплоти з поверхні продукту. Існує таке поняття, як “мокрий” коефіцієнт тепловіддачі, $\alpha_{\text{м}}$ – відношення сумарного теплового потоку з поверхні до різниці температур між поверхнею та охолодним середовищем. Його розраховують за формулою:

$$\alpha_{\text{м}} = \alpha_{\text{пр}} \left(1 + \frac{r}{c_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}}} \frac{d(t_{\text{пр}}) - d(t_{\text{кам}})}{t_{\text{пр}} - t_{\text{кам}}} \right), \quad (29)$$

де індекси “пр” стосуються поверхні продукту, а “кам” – повітря камери; r – питома теплота випаровування вологи з поверхні продукту (для умов холодильної камери можна прийняти $r = 2501 \text{ кДж/кг}$).

Процес охолодження призводить до нелінійної зміни температури поверхні продукту, залежність вологовмісту повітря від температури також нелінійна. Тому доцільно розподілити процес на елементарні відрізки часу $d\tau$, всередині яких умови тепломасообміну можна вважати сталими. Тоді елементарну усушку, kg , за проміжок часу $d\tau$ можна визначити за формулою

$$\delta m = \frac{\alpha_{\text{пр}} F_{\text{пр}}}{c_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}}} \cdot [\phi_{\text{пр}} d(t_{\text{пр}}(\tau)) - \phi_{\text{кам}} d(t_{\text{кам}})] d\tau, \quad (30)$$

де $F_{\text{пр}}$ – площа поверхні продукту, м^2 , для продукту у штабелях її визначають за формулою: $F_{\text{пр}} = f_{\text{пр}} M_{\text{пр}}$, де $M_{\text{пр}}$ – маса продукту, t ; $f_{\text{пр}}$ – питома площа продукту у разі розміщення його у штабелі, $\text{м}^2/t$; $d(t_{\text{кам}})$ – вологовміст повітря у стані насичення при температурі у камері; $d(t_{\text{пр}}(\tau))$ – вологовміст повітря у стані насичення при температурі поверхні продукту; $\phi_{\text{пр}}$, $\phi_{\text{кам}}$ – відносна вологість повітря відповідно поблизу поверхні продукту і в камері, од.

Питома площа поверхні продуктів у штабелі	
Продукт	$f_{\text{пр}}, \text{м}^2/\text{т}$
Яловичина у четвертинах і напівтушах	12
Свинина у напівтушах	11
Баранина у тушах	20

Для визначення усушки за весь час охолодження слід проінтегрувати вираз (30) за весь час охолодження. Отриманий результат (Δm) матиме розмірність маси. Для визначення відносної усушки, %, отримане значення слід поділити на початкову масу продукту та помножити на 100 %.

На практиці користуються чисельними методами. Слід знати, як змінюється температура поверхні у часі та загальну тривалість охолодження, тоді, використовуючи метод регулярного теплового режиму, можна отримати такий алгоритм розрахунку [7]:

1. Обрати крок за часом dt
2. Прийняти початкову температуру поверхні рівною початковій температурі продукту: $t_{\text{пр}}(0) = t_{\text{поч}}$.
3. Розрахувати “мокрий” коефіцієнт тепловіддачі за формулою (29).
4. З рівнянь (19)–(25) знайти значення середньооб’ємної температури тіла та температури поверхні тіла після охолодження протягом часу dt .
5. Визначити усушку, кг, за час dt за формулою (30)
6. Повернутися до п. 3 і повторювати пп. 3,4,5 доти, поки середньооб’ємна температура продукту не набуде заданого значення.
7. Визначити сумарну усушку Δm , кг, за весь час охолодження.

Якщо продукт охолоджувати у паронепроникній упаковці, то волога практично не виходить до повітря камери. Але за наявності порожнин між продуктом та упаковкою на її внутрішній поверхні конденсуватиметься водяна пара, що вийшла з продукту. Цей процес називається внутрішнім усиханням. Воно зменшує масу нетто (без упаковки) та погіршує якість продукту, хоча маса брутто (з упаковкою) не зменшується. Подібний процес спостерігається і під час заморожування упакованих продуктів – всередині упаковки утворюється іній. Для зменшення внутрішнього усихання застосовують вакуумне пакування, що забезпечує щільне прилягання плівки до продукту, а також знижує вміст кисню всередині упаковки, сповільнюючи окиснювальні та мікробіологічні процеси у продукті.

4.5. Розрахунок теплового навантаження камери охолодження

Сумарну кількість теплоти, відведену під час охолодження продуктів, визначають з урахуванням вологи, що потім осідає на охолоджувальних пристроях камери у вигляді снігової шуби, а також виділення теплоти за рахунок біологічних і біохімічних процесів, що проходять у продукті (зокрема під час дихання плодів).

Випаровуючись, вода відводить від продукту певну кількість теплоти. Встановлено, що залежно від температури повітря та властивостей продукту частка цієї теплоти може сягати 50 % загальної кількості відведеної теплоти.

Теплове навантаження під час охолодження змінюється залежно від різниці температур продукту і охолодного середовища. На початку охолодження теплове навантаження на охолоджувальні прилади максимальне і поступово зменшується.

З урахуванням зазначених факторів середнє теплове навантаження на камеру охолодження, кВт, визначають за формулою

$$Q = \frac{m(c(t_n - t_k) + q) + \Delta m r}{\tau}, \quad (31)$$

де m – маса продукту, кг; c – теплоємність продукту, кДж/(кг·К); t_n , t_k – відповідно початкова і кінцева температури продукту, °С; q – питомі тепловиділення від біологічних і біохімічних процесів, кДж/кг; Δm – усихання продукту за час охолодження, кг; r – питома теплота випаровування води, кДж/кг (можна приймати $r = 2501$ кДж/кг); τ – тривалість охолодження, с.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке охолодження? Який продукт вважають охолодженим?
2. Якими способами здійснюється охолодження продуктів? У чому полягають переваги та недоліки охолодження у повітрі, у рідкому середовищі (зрошення, занурення), контактного? У яких випадках використовують кріогенне охолодження?
3. Які величини слід визначити під час теплового розрахунку процесу охолодження?
4. Чому температурне поле всередині охолоджуваного продукту нерівномірне? Що таке середньооб'ємна температура?
5. У якому порядку здійснюється розрахунок процесу охолодження аналітичним способом? У чому полягають його переваги та недоліки? Що таке тіла простої форми? Як визначити тривалість їх охолодження аналітичним способом?
6. Як проводять розрахунок тривалості охолодження графічним способом? У чому полягають переваги та недоліки цього способу?
7. Що таке регулярний тепловий режим? У якому випадку режим охолодження тіла можна вважати регулярним? Як здійснюється розрахунок процесу охолодження для регулярного теплового режиму?
8. Що таке усихання? Опишіть механізм усихання під час охолодження.
9. Що таке усушка продукту? Як розрахувати усушку продукту за час охолодження? Як можна зменшити усушку?
10. Як розрахувати теплове навантаження на камеру охолодження?

5. ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ПІДМОРОЖУВАННЯ

Процес зниження температури продукту значно нижче за кріоскопічну називається заморожуванням. Під час заморожування майже вся вода, що міститься у продукті, кристалізується. Це досягається при температурі в центрі продукту -6 °С та нижчій. Заморожування використовують для забезпечення стійкості продукту під час тривалого зберігання, відділення вологи під час концентрування рідких харчових продуктів, зміни фізичних властивостей продуктів (твердість, крихкість тощо) для подальшого технологічного оброблення, сублімаційного сушіння,

вироблення харчових продуктів та надання їм специфічних смакових і товарних якостей (морозиво, пельмені, заморожені продукти).

Під час заморожування відбувається своєрідне висушування продукту. При цьому зменшується кількість води у рідкій фазі, необхідної для перебігу біохімічних реакцій і життєдіяльності мікроорганізмів, що значно подовжує термін зберігання продуктів. Але на відміну від висушування, вода не видаляється з продукту, тому після розморожування він значною мірою зберігає первинні властивості.

Заморожений продукт відрізняється від охолодженого твердістю (наслідок перетворення води на лід), яскравістю забарвлення (наслідок оптичних ефектів, спричинених кристалами льоду), зменшенням густини на 5–8 % (наслідок розширення води під час замерзання), зміною теплофізичних характеристик.

На відміну від охолодження, заморожування спричиняє незворотні зміни в продукті, тому він частково втрачає первинні властивості. Під час заморожування відбувається частковий перерозподіл вологи, пошкодження тканин продукту кристалами льоду, можлива часткова денатурація білків. Для мінімізації цих змін, а отже, збереження харчових і смакових якостей замороженого продукту, слід досягти максимальної зворотності процесів, що проходять під час заморожування. Тому продукти слід заморожувати у найбільш раціональних режимах.

5.1. Зміни в продуктах під час заморожування

Процес заморожування тканин насамперед є процесом замерзання тканинного соку. Нижча концентрація розчинених речовин у міжклітинному просторі визначає різницю в значеннях криоскопічних температур структурних елементів, внаслідок чого кристали льоду формуються насамперед у міжклітинній рідині. Процес супроводжується зростанням осмотичного тиску внаслідок зростання концентрації розчинених у рідині солей, що в свою чергу зумовлює міграцію вологи з клітин.

Зі зниженням температури у клітинах спочатку настає стан переохолодження, а потім у них виникають центри кристалізації, що призводить до утворення внутрішньоклітинного льоду. Межа переходу з одного агрегатного стану до іншого зумовлена не лише концентрацією розчину, властивостями окремих його компонентів, а й рядом інших факторів. Так, у тонких капілярах воду можна переохолодити до -20°C . Межа переохолодження окремих розчинів і харчових продуктів різна, а температура нижче цієї межі чи механічний поштовх призводять до дуже швидкого, практично масового перетворення води на лід.

За повільного заморожування з утворенням великих кристалів поза клітинами змінюється початкове співвідношення об'ємів за рахунок перерозподілу вологи і фазового переходу води. Швидке заморожування запобігає значному дифузійному перерозподілу вологи і розчинених речовин і сприяє утворенню дрібних, рівномірно розподілених кристалів льоду.

Зі зміною швидкості заморожування у міру пересування межі фазового переходу від периферії до центру продукту змінюються розмір і характер розподілу кристалів льоду. Найменші кристали утворюються в поверхневих шарах продукту.

Під час виморожування води зростає концентрація солей у тканинному соці,

що веде до зниження криоскопічної температури. Виморожування води та зростання концентрації відбуваються одночасно і поступово. З досягненням евтектичної концентрації тканинний сік кристалізується у вигляді однорідної суміші – евтектики.

У холодильній технології воду, що перейшла в твердий стан, називають вимороженою. Частка вимороженої води (ω) – це відношення маси вимороженої води до загального вологовмісту продукту. Для харчових продуктів частку вимороженої води визначають за емпіричними рівняннями:

$$\omega = \frac{110,5}{1 + \frac{0,31}{\lg(t_{\text{ск}} + (1 - t_{\text{кр}}))}}, \quad (32)$$

чи простішим:

$$\omega = 1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t_{\text{ск}}}, \quad (33)$$

де $t_{\text{кр}}$ – криоскопічна температура продукту, °С; $t_{\text{ск}}$ – середня кінцева температура замороженого продукту, °С.

Експериментально встановлено, що приблизно 75 % води, що міститься у м'ясі, птиці, яйцях, рибі, і до 50 % – у картоплі виморожується при температурі до –4 °С. Вважається, що повне виморожування вільної води у харчових продуктах відбувається при евтектичній температурі, що для більшості харчових продуктів лежить у межах –55...–86 °С.

Істотним фактором, що визначає якість замороженого продукту та його стійкість під час подальшого зберігання, є середня кінцева температура замороженого продукту. У разі її зниження зменшуються втрати білкових та екстрактивних речовин з клітинним соком під час розморожування. Так, м'ясо чи риба, швидко заморожені до –50... –70 °С, а потім розморожені, незначно відрізняються за показниками якості від охолоджених.

Водночас різниця якості продуктів, заморожених різними способами, після кількох місяців зберігання при температурі –20 °С практично зникає внаслідок міграційної *перекристалізації* – наростання великих кристалів за рахунок плавлення дрібних. Рушійними силами цього процесу вважають коливання температури та різницю тисків водяної пари над поверхнею дрібних і великих кристалів. Над поверхнею дрібних кристалів тиск водяної пари завжди вищий (більша їх питома площа), через що волога мігрує до великих кристалів. При низьких температурах перекристалізація проходить повільно, але її прискорюють коливання температури: під час зростання температури дрібні кристали повністю плавляться, а під час подальшого її зниження відбувається наростання льоду на вже існуючих кристалах. Отже, нераціональні умови зберігання руйнують дрібнокристалічну структуру, що утворилася внаслідок швидкого заморожування, зводячи нанівець усі його переваги.

За будь-якого способу та швидкості заморожування у клітині відбуваються складні біохімічні та мікробіологічні зміни, пов'язані з порушенням її структури. Під час заморожування вода перетворюється на лід, що змінює осмотичні умови і різко зменшує швидкість більшості біохімічних процесів.

Важливим фактором, що впливає на збереження нативної структури *білків*, є зв'язана вода. Але це стосується лише води, пов'язаної з білками тих груп, у яких енергія зв'язку вища за енергію, що вивільнюється під час кристалізації льоду. Білки з нижчою енергією зв'язку втрачають воду, що виморожується, а їх молекули коагулюють. Стабільні білкові речовини утримують воду, що дає їм змогу зберегти нативну структуру після розморожування. Процеси денатурації білків під час заморожування до певної міри сповільнюються фізичними змінами розчину, що утворюється, зокрема змінами в'язкості, іонної сили, тиску водяної пари та рН. Зміни білків продуктів відбуваються також внаслідок їх гідролізу під впливом тканинних ферментів, що вивільнюються під час пошкодження клітин.

Зміни *жирів* під час заморожування та зберігання є наслідком ферментативних та окиснювальних процесів. Зі зниженням температури заморожування швидкість хімічних реакцій (відповідно і окиснення жирів) різко сповільнюється.

Зміни *вуглеводів* під час заморожування значною мірою залежать від їх складу. Так, є дані, що високомолекулярні вуглеводи в процесі заморожування підлягають агрегуванню. Для систем, багатих на крохмаль (наприклад картоплі), характерне зниження здатності зв'язувати воду.

Зміни *вітамінів* під час заморожування залежать від їх хімічної структури, виду і будови тканини продукту. Вітаміни втрачаються під час попереднього оброблення сировини (10–20%) і безпосередньо під час заморожування (10 %). Інтенсифікація заморожування сприяє збереженню вітамінів.

Під час заморожування значно знижуються кількість та активність *мікроорганізмів*, але знищити їх повністю не вдається. Заморожування призводить до зростання концентрації розчинених речовин внаслідок міграції вологи з мікробної клітини у зовнішнє середовище на першій стадії заморожування і до внутрішньоклітинної кристалізації води на подальших стадіях, а також порушення узгодженості біохімічних реакцій за рахунок відмінності у зміні їх швидкостей.

Стійкість мікробної клітини до заморожування залежить від виду і роду мікроорганізмів, стадії їх розвитку, швидкості і температури заморожування, складу середовища життя. Найбільше мікроорганізмів відмирає при температурі $-4...-6^{\circ}\text{C}$, а їх зростання і розмноження повністю виключається при температурі $-10...-12^{\circ}\text{C}$, хоча мікроорганізми повністю не знищуються.

Усихання під час заморожування полягає у тому, що доти, поки на поверхні продукту не утворилася льодяна кірка, з нього випаровується рідка вода, а потім – сублімується лід. Втрати води під час заморожування можуть коливатися у межах 0,3–2 % залежно від температури та виду охолодного середовища, початкової та кінцевої температур продукту, методу і швидкості заморожування, властивостей шкірочки (для плодів) та ін. Втрати вологи з поверхні заморожених продуктів визначають так само, як і для охолодження.

Заморожування істотно змінює теплофізичні властивості продуктів. Причина цього – перетворення води на лід.

Повна питома теплоємність продуктів під час заморожування містить приховану теплоту кристалізації води. Її значення максимальне при кріоскопічній

температурі продукту і зменшується зі зниженням температури. У теплових розрахунках процесу заморожування користуються умовною теплоємністю заморожених продуктів, куди не включають приховану теплоту кристалізації води. Умовна питома теплоємність

$$c_m = c_c(1 - W) + c_l W \omega + c_p W(1 - \omega), \quad (34)$$

де c_c – умовна теплоємність сухих речовин, кДж/(кг·К); c_l , c_p – питомі теплоємності відповідно льоду ($c_l = 2,12$ кДж/(кг·К)) та рідини у продукті, (можна вважати $c_p = 4,24$ кДж/(кг·К)); W – безрозмірна масова частка води в продуктах; ω – частка вимороженої води.

Теплоту льодоутворення на одиницю маси продукту у разі зміни температури на 1 К знаходять за формулою

$$q_\omega = (\omega_2 - \omega_1) W r_f, \quad (35)$$

де $(\omega_2 - \omega_1)$ – різниця часток вимороженої води у разі зміни температури на 1К; W – безрозмірна масова частка води в продуктах; r_f – питома прихована теплота кристалізації води, кДж/(кг·К). При 0 °С $r_f = 335$ кДж/(кг·К), При інших температурах її наближено визначають за формулою

$$r_f = 335 + 2,12 \cdot |t|, \quad (36)$$

де t – температура замороженого продукту, °С.

Повна питома теплоємність замороженого продукту, кДж/(кг·К)

$$c_\omega = c_m + q_\omega, \quad (37)$$

Коефіцієнт теплопровідності продуктів під час заморожування зростає, бо теплопровідність льоду вища, ніж у води. Його визначають за формулою Ейкена:

$$\lambda_m = \lambda_o \left[1 - \frac{3\omega(\lambda_o - \lambda_e)}{3\lambda_o - (1 - \omega)(\lambda_o - \lambda_e)} \right] \quad (38)$$

де λ_o – теплопровідність продукту, охолодженого до кріоскопічної температури, Вт/(м·К); λ_e – теплопровідність повністю замороженого продукту при евтектичній температурі, Вт/(м·К); ω – безрозмірна частка вимороженої води при середній температурі замороженого продукту.

Також використовують інші, простіші формули:

$$\lambda_m = \lambda_o + 0,9\omega, \quad (39)$$

$$\lambda_m = 1,74W\omega + 0,23. \quad (40)$$

Зростання теплопровідності продукту зі зниженням температури практично припиняється після повного вимерзання води.

Густина продуктів під час заморожування зменшується зі зниженням температури тим швидше, чим більше вологи вони містять, бо густина льоду менша за густину води. Але це зменшення зазвичай не перевищує 5–8 %, тому у розрахунках її умовно можна вважати сталою.

Коефіцієнт температуропровідності продуктів зі зниженням температури зростає, досягаючи максимальної величини після повного вимерзання води. Для більшості заморожених харчових продуктів його визначають за формулою

$$a_m = a_o + (2,08 \cdot 10^{-8})\omega, \quad (41)$$

де a_o – коефіцієнт температуропровідності охолодженого продукту, м²/с; ω –

безрозмірна частка вимороженої води. Числовий коефіцієнт зростає для продуктів з високим вологовмістом.

5.2. Швидкість заморожування

Швидкість заморожування визначається швидкістю просування фронту заморожування – межі розділу між рідкою та твердою фазами – від поверхні заморожуваного продукту до його центру. Вона значною мірою впливає на якість заморожених продуктів. Для досягнення якісного заморожування його швидкість має бути такою, щоб тривалість впливу критичних температур (зона $-0,5...-8$ °C, у якій спостерігається максимальне кристалотворення) була мінімальною.

Існує декілька способів визначення швидкості заморожування. Найчастіше її розглядають як відношення відстані, яку пройшов фронт заморожування від поверхні продукту до його центру, до тривалості проходження фронту і виражають у сантиметрах на годину.

Швидкість заморожування залежить від температури, товщини продукту і способу заморожування. Р. Планк запропонував таку формулу для визначення швидкості заморожування:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{t_{кр} - t_c}{\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right) \cdot q \cdot \rho}, \quad (42)$$

де $t_{кр}$, t_c – відповідно криоскопічна температура продукту та температура охолодного середовища, °C; x – визначальний розмір продукту, м; λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·K); α – коефіцієнт тепловіддачі; q – питома кількість теплоти, що відводиться від продукту під час заморожування, кДж/кг; ρ – густина продукту, кг/м³.

Залежно від швидкості заморожування поділяють на повільне (до 1,0 см/год), прискорене (1,0–5), швидке (5–10) і надшвидке (10–100). Швидке заморожування зберігає структуру продукту, проте не завжди гарантує його високу якість. Так, заморожування крупних продуктів (наприклад цілих плодів), у кріорідинах відбувається з дуже великою швидкістю, але водночас у продукті різко зростає тиск клітинного соку, що замерзає. Через це зовнішні шари продукту (вже заморожені та тверді) розриваються через зростання об'єму внутрішніх шарів, де заморожування ще триває і швидко зростає внутрішній тиск. Подібна картина може спостерігатися і у процесі швидкого заморожування двокомпонентних продуктів, наприклад пельменів, тонка тістова оболонка яких тріскається через розширення фаршу.

Швидкість заморожування можна збільшити такими способами: знизити температуру охолодного середовища (при цьому зростають капітальні та експлуатаційні видатки на холодильну машину); зменшити товщину продукту (наприклад подрібнити його); підвищити коефіцієнт тепловіддачі з поверхні продукту (турбулізація потоку, підвищення його швидкості та ін.).

5.3. Температурні графіки процесу заморожування

Температурні графіки заморожування характеризують зміну в часі температу-

ри в різних точках продукту і відрізняються залежно від розмірів і теплофізичних властивостей заморожуваних продуктів, а також від інтенсивності тепловіддачі (рис. 3.1). Графік складається з чотирьох ділянок.

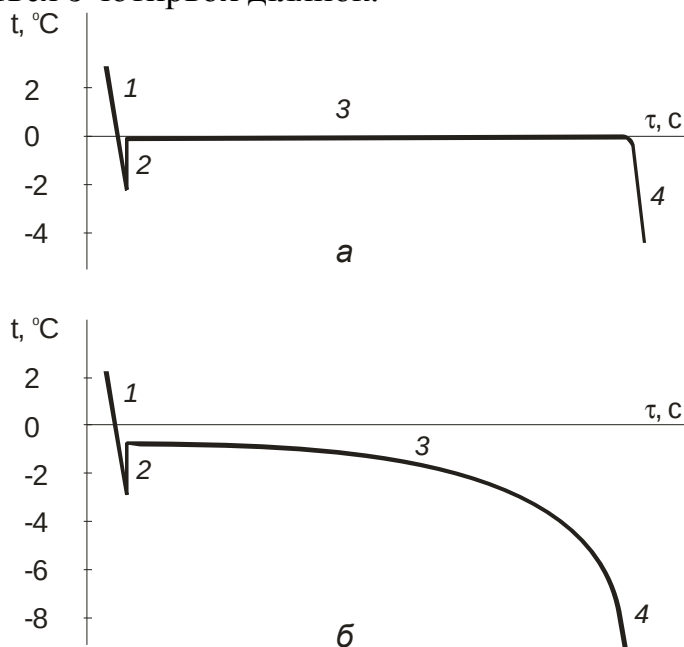


Рис. 6. Температурні графіки заморожування дистильованої води (а) і яблучного соку (б)
 1 – охолодження та переохолодження рідини; 2 – початок кристалізації; 3 – основна кристалізація;
 4 – охолодження льоду

Перша ділянка – похила – відповідає охолодженню продукту до криоскопічної температури. Її нахил визначається швидкістю відведення теплоти від продукту. Вона закінчується нижче, ніж криоскопічна температура, що пояснюється можливістю переохолодження продукту.

На *другій ділянці* починається інтенсивне кристалоутворення за рахунок виділення прихованої теплоти кристалізації води, тому температура швидко зростає до криоскопічної.

На *третьій ділянці* відбувається основна кристалізація води. Теплота, що відводиться від води, компенсується тепловиділенням від її кристалізації. У разі зростання температури кристалізація припиниться і тепло перестане виділятися, а у разі зниження температури швидкість кристалізації (і відповідно тепловиділення) зростає. Криоскопічна температура дистильованої води стала, тому її кристалізація повністю відбувається при сталій температурі. У харчових продуктах міститься не дистильована вода, а клітинний сік, що містить розчинені речовини. При виморожуванні води концентрація клітинного соку поступово зростатиме, і відповідно поступово знижуватиметься криоскопічна температура. Тому третя ділянка для розчинів і харчових продуктів не є горизонтальною. Для більшості харчових продуктів кристалізація основної кількості води відбувається в діапазоні температур $-0,5...-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, що називається критичним, бо у цей період у продуктах відбуваються найсуттєвіші зміни. Мета інтенсифікації процесу заморожування – швидке проходження саме цієї ділянки, завдяки застосуванню швидких і надшвидких способів заморожування.

Четверта ділянка графіка показує зміну температури після кристалізації основної частини води. Внаслідок зростання тепло- та температуропровідності

замороженого продукту порівняно з охолодженим збільшується нахил цієї ділянки порівняно з першою.

5.4. Способи заморожування

Існує велика кількість способів заморожування (рис. 7). Для кожного продукту слід обирати такий спосіб, щоб максимально зберегти його якість за мінімальних витрат коштів.

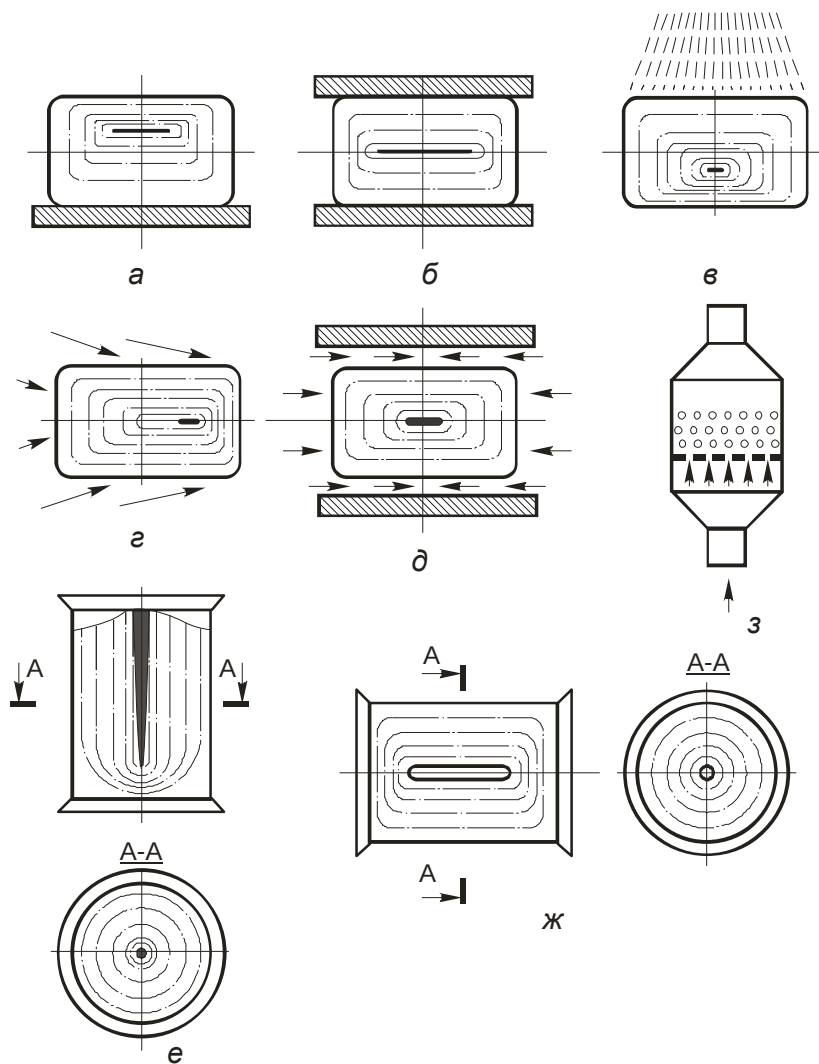


Рис. 7. Способи заморожування (ізоТЕРМИ зображені штрихпунктиром):

a – контактний одnobічний; *б* – контактний двобічний; *в* – зрошення рідким холодоносієм; *г* – у потоці повітря; *д* – у поперечно-проточному потоці повітря; *е* – у псевдозрідженому шарі; *ж* – у нерухомих банках (формах); *з* – у процесі обертання банок з рідким продуктом.

Заморожування у потоці холодного повітря (рис. 7, г, д) здійснюють у холодильних камерах з примусовою циркуляцією повітря. Камери часто мають форму тунелю, де продукт розміщений на візках у лежачому чи підвішеному стані (періодичний процес заморожування). Можливе також безперервне заморожування під час транспортування продуктів крізь морозильні тунелі. Продукти великого розміру (наприклад м'ясні напівтуші) транспортують конвеєром у підвішеному стані, дрібні (наприклад м'ясні напівфабрикати чи готові страви) – стрічковим

транспортером. Для зменшення площі, що її займає апарат, використовують спіральні апарати, у яких транспортер розміщений за витками спіралі. Температура повітря у морозильних тунелях становить від -15 до -45 °С, швидкість руху повітря – $2...3$ м/с, рідше – до 12 м/с.

Дрібні сипкі продукти (ягоди, кукурудза, зелений горошок, нарізані плоди, морепродукти) заморожують у флюїдизаційних морозильних апаратах (апарати з псевдозрідженим шаром). Продукт у них міститься на перфорованій решітці (рис. 7, е) або сітчастій стрічці (у тунельних апаратах), крізь яку знизу вентиляторами подається повітря (рис. 8). Частки продукту під впливом лобового тиску повітряного потоку P рухаються вгору, але через розкриття струменя повітря його переріз збільшується та відповідно зменшується швидкість. Внаслідок цього сила лобового тиску зменшується, і частка під впливом сили тяжіння G рухається донизу, знову потрапляючи у зону високої швидкості повітря. Таким чином, кожна частка перебуває у коливальному русі “догори-донизу”, а весь шар створює видимість кипіння (інколи його так і називають – киплячий шар). В установках із нерухомою сіткою продукт не лише підтримується потоком повітря у завислому стані, а й спрямованим його рухом переміщується в установці. Флюїдизаційні апарати мають широкий діапазон продуктивності – від $0,5$ до 15 т/добу, а теплообмін у них йде інтенсивніше, ніж у звичайних повітряних апаратах.

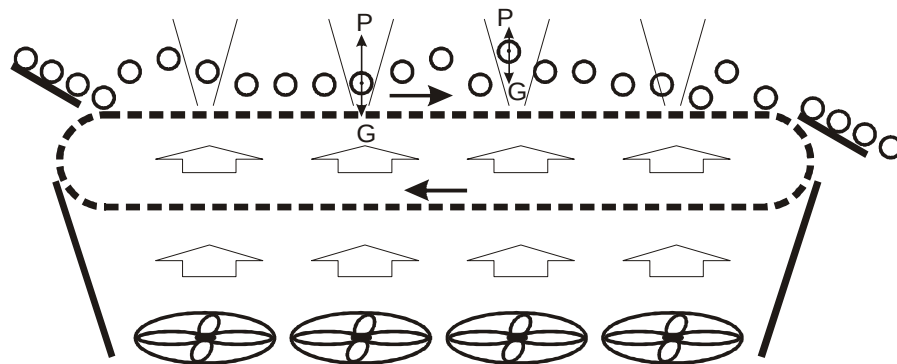


Рис. 8. Флюїдизаційний морозильний апарат з рухомою стрічкою

Перевагою тунельних морозильних апаратів є універсальність. У них можна заморожувати харчові продукти різної форми та розміру, у різній упаковці чи без неї. Асортимент заморожуваних продуктів обмежений розмірами тунелю і потужністю конвеєра. Перевагою є можливість механізації вантажних робіт, простота автоматизації процесу. Перемішування шару у флюїдизаційному апараті сприяє інтенсивному теплообміну між повітрям і частками продукту, тому швидкість заморожування у таких апаратах досить висока. Цьому сприяє і малий розмір часток продукту, що створює більшу питому поверхню теплообміну. Інтенсивне перемішування шару перешкоджає злипанню та змерзання часток, що дає можливість отримати заморожений продукт кращої якості, з привабливим зовнішнім виглядом. Конвеєрні й особливо флюїдизаційні морозильні апарати найвигідніше використовувати для заморожування сировини у разі, якщо потрібно зберегти її форму, сипкість і здійснити фасування після заморожування.

Повітряні тунельні апарати мають нижчі коефіцієнти тепловіддачі і відповідно швидкість заморожування порівняно із занурюванням у рідину. Істотним недоліком заморожування неупакованих продуктів у потоці повітря є значна втрата їх маси (усушка), зумовлена випаровуванням і частковою сублімацією води з продуктів. Усушка зростає зі збільшенням швидкості руху повітря, температури, різниці парціальних тисків водяної пари між продуктом і охолоджувальним середовищем, площі відкритої поверхні продукту. Через усихання, погіршується якість продуктів, нерідко вони втрачають свій природний колір, набувають неприємного лежального присмаку і запаху. Волога, що виділяється з продукту, конденсуватиметься на повітроохолодниках у вигляді снігової шуби, що перешкоджатиме теплообміну. Недоліком повітряних апаратів також є значна витрата електроенергії на роботу вентиляторів, що становить приблизно 25 % сумарної витрати на заморожування.

Заморожування у рідкому середовищі здійснюють зануренням чи зрошенням (рис. 7, в). Температура середовища становить $-20\ldots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Використовують подвійні чи потрійні водні розчини, що містять розчинні вуглеводи (цукрозу, глюкозу, фруктозу тощо) з додаванням етилового спирту, солей, гліцерину та ін.

Контактне заморожування придатне лише для продуктів, на якість яких не впливає кухонна сіль. При охолодженні ненасиченого розчину NaCl до точки замерзання (наприклад $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) вода починає перетворюватися на лід. При контакті такого розчину з вологим охолодженим продуктом під час занурення чи зрошування на поверхні продукту швидко утвориться кірка льоду, що перешкоджає переходу солі з розчину в продукт. Після закінчення заморожування для видалення надлишку солі продукт занурюють у посудину з теплою водою на 30–60 секунд. Проте під час заморожування слід дотримуватися ряду умов, однією з яких є підтримання відповідної температури для даної концентрації розсолу. Крім того, при недостатньому видаленні солі змінюється колір і смак продукту, а його поверхня зволожується під час контакту з вологим повітрям. Крім солей, використовують компоненти розчину, безпечні для продукту, довкілля і людини (цукор тощо).

Крім однофазних розчинів, для охолодження та заморожування харчових продуктів використовують двофазні льодорозсільні суспензії. Продукти охолоджують і заморожують, занурюючи їх у таку суспензію (шугу).

Для *безконтактного заморожування* продукт, вміщений у металеву форму чи упакований у водонепроникну упаковку, занурюють в холодоносії (найчастіше використовуються розчини гліколів з температурою $-20\ldots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), або конвеєром транспортують крізь ванну з холодоносієм. За цього способу заморожування немає потреби у ретельному підтриманні температури холодоносія у точці його замерзання. Умовою швидкого заморожування є акуратне розміщення продукту у формі – без утворення повітряних подушок, що погіршують теплопередачу і знижують швидкість заморожування.

Перевагою заморожування у рідкому середовищі є насамперед висока швидкість заморожування та добрий контакт з продуктом будь-якої форми. Втрати під час розморожування продуктів, заморожених способом занурення, мінімальні. Значне зростання коефіцієнта теплопередачі порівняно з повітряним

заморожуванням дає можливість знизити час заморожування та витрату електроенергії на 25 %. До недоліків способу можна віднести необхідність застосування спеціальної упаковки. Крім того, використання розсолу спричинює сильну корозію і швидке зношення устаткування. Додатковими проблемами є висока в'язкість рідин при низьких температурах (зростає витрата електроенергії на перекачування), складність підтримання чистоти охолодженого середовища.

Гідрофлюїдизаційне заморожування (HFM) поєднує переваги заморожування занурюванням та флюїдизаційного, усуваючи їх недоліки. Використовується циркуляційна система, у якій охолоджувальна рідина нагнітається вгору через жиклери та сопла у холодильний резервуар, створюючи турбулентні струмені (рис. 3.4) У резервуарі створюється певний об'єм з високотурбулентної рідини та продукту, що забезпечує високі коефіцієнти тепловіддачі та швидке замороження.

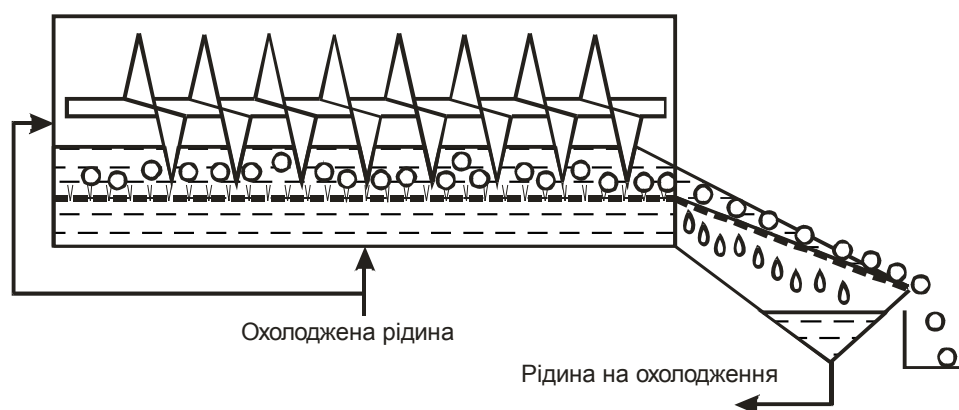


Рис. 9. Гідрофлюїдизаційний морозильний апарат

Для гідрофлюїдизаційного методу також було запропоновано використовувати льодяну шугу. Вона має більший енергетичний потенціал, бо частки льоду під час танення поглинають теплоту без зміни температури середовища та додатково турбулізують середовище, створюючи дуже високий коефіцієнт теплообміну ($1000\text{--}2000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$). Швидкість заморожування шляхом гідрофлюїдизації у льодяній шугі майже така ж висока, як і при застосуванні криогенного заморожування.

Переваги гідрофлюїдизаційного заморожування: можливість використати для швидкого заморожування температури $-25\text{...}-30^\circ\text{C}$ та одноступеневу холодильну машину; економія енергії приблизно вдвічі порівняно з флюїдизаційним заморожуванням; швидке проходження зони максимального кристалоутворення ($-1\text{...}-8^\circ\text{C}$), утворення дрібнокристалічної льодяної структури, мінімальне руйнування тканин продукту; миттєве заморожування поверхні продукту з утворенням льодяної кірки, що надалі захищає продукт від усихання; зменшення механічного впливу на продукт і збереження його товарного вигляду; відсутність змерзання продукту, що полегшує його подальше оброблення і пакування; можливість додавати до гідрофлюїдизаційного середовища цукор, сіль, смакові добавки, антиоксиданти тощо; легкість автоматизації; можливість накопичувати і зберігати льодяну шугу у теплоізованих місткостях, зокрема

вночі, коли електроенергія дешевша.

Під час *контактного заморожування* продукт контактує з вертикальними чи горизонтальними металевими пластинами (плитами), з іншого боку (або всередині) яких пропускають киплячий холодоагент чи холодоносієм з температурою $-30\ldots-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Контактне заморожування пореподібних матеріалів здійснюють на металевих стрічках, нижній бік яких змочується рідким холодоносієм або між металевими стрічками (рис. 7, а, б). Так заморожують дрібні продукти (зокрема рибне філе), м'ясо та субпродукти у блоках, напівфабрикати. Рідкі та пореподібні продукти заморожують у металевих банках або формах (рис. 7, е, ж). Доцільно обертати банки, щоб повітряна бульбашка, що залишиться після заморожування, не контактувала з поверхнею банки. Перевагами плиткових морозильних апаратів є: висока швидкість заморожування; можливість отримати продукт правильної геометричної форми, що важливо для зручності його пакування, оптимального використання об'єму холодильних камер під час зберігання і транспортування; економічність порівняно з тунельними; відсутність усихання; простота миття та дезінфекції. Ці апарати займають меншу площу, їх не обов'язково ставити в охолоджуваному приміщенні. Недоліками плиткових апаратів є нерівномірність заморожування (особливо у разі одностороннього контакту) і непридатність для заморожування ніжних продуктів (наприклад суниці) та продуктів неправильної форми.

Заморожування в скраплених газах широко досліджувалося ще з 1926 року. Встановлено, що в цьому разі коефіцієнт теплопередачі приблизно вдвічі вищий, ніж під час занурення в розсіл. У 1960-их роках були впроваджені автоматизовані апарати для надшвидкого заморожування продуктів у рідкому азоті (рис. 10).

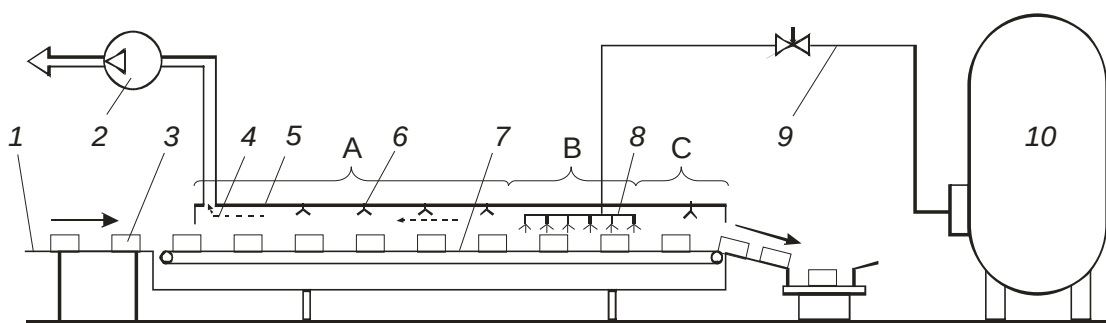


Рис. 10. Схема апарата для заморожування продуктів у скрапленому азоті:

1 – завантажувальний конвеєр; 2 – вентилятор; 3 – продукт; 4 – газоподібний азот; 5 – теплоізований корпус; 6 – вентилятори; 7 – конвеєр; 8 – форсунки; 9 – підведення скрапленого азоту; 10 – збірник скрапленого азоту

Вони виконані у вигляді тунелю, до якого конвеєром чи у металевих кошиках подається продукт. У першій зоні апарата (А) продукт охолоджується, контактуючи з газоподібним азотом, що рухається в протитечії. У зоні В він зрошується рідким азотом через форсунки, внаслідок чого поверхня продукту швидко заморожується. В останній зоні (С) йде вирівнювання температури продукту з проморожуванням його внутрішніх шарів до температури $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (і нижче). У деяких морозильних апаратах, якщо необхідне повне збереження структури та біохімічного складу, продукт після

чи замість зрошування занурюється у ванну з рідким азотом. Проходячи через рідкий азот, продукт швидко проморожується до температур $-150...-195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Морозильні апарати цього типу займають площу близько 12 м^2 . Тривалість заморожування в них становить близько 1–5 хв залежно від розміру шматків.

Перевагою способу заморожування продуктів у скрапленому газі є в кілька разів вища швидкість заморожування порівняно з іншими способами. Це дає змогу краще зберегти консистенцію, ароматичні речовини і зовнішній вигляд продукту. Крім того, за рахунок скорочення часу заморожування зменшуються питомі теплонадходження з довкілля. Втрати маси продукту, заморожуваного в азоті, мінімальні, а в окремих випадках ними взагалі можна знехтувати. Насичення поверхневих шарів продукту вуглекислим газом чи азотом під час заморожування додатково сповільнює біохімічні та мікробіологічні процеси, що відбуваються у продукті. За такого способу заморожування відпадає потреба у холодильній машині, а отже апарат простіше експлуатувати.

Основним недоліком цього способу заморожування є потреба у дорогих кріорідинах і потужній теплоізоляції, що тягне за собою порівняно великі виробничі видатки. Тому цей спосіб зараз застосовується лише для заморожування окремих видів продуктів і в тому разі, якщо не можна застосувати інший. Також він поширений у біології та медицині.

Для зменшення витрати кріорідини також застосовують *комбіноване заморожування*. Спочатку продукт обробляють кріорідиною, щоб на поверхні утворилася щільна кірка льоду, яка перешкоджатиме випаровуванню вологи, а потім доморожують у швидкоморозильному тунельному апараті з інтенсивним рухом повітря. Такий спосіб дає можливість отримати заморожений продукт порівняно високої якості з меншими видатками.

Заморожування продуктів у вакуумі (адіабатичне охолодження) є основною операцією під час сублімаційного сушіння продуктів. Під час зниження тиску у вакуумованому апараті збільшується різниця парціальних тисків водяної пари на поверхні продукту та у середовищі апарата. Зростає швидкість випаровування води з продукту, що призводить до зниження його температури. На першому етапі утворюються кристали водяного льоду, а потім уже під глибоким вакуумом здійснюється сублімація льоду і тим самим забезпечується зневоднення продукту.

У Європі, США, Японії досліджується метод оброблення харчових продуктів середовищем *під високим тиском*. За тиску 100–200 МПа змінюються властивості льоду і води. Зі збільшенням тиску знижуються температура замерзання та прихована теплота фазового переходу. Заморожування відбувається дуже швидко, отже утворюються мікрокристали льоду або вода переходить у склоподібний стан, зберігаючи структуру клітин. При цьому подовжується термін зберігання та майже повністю зберігаються харчова та смакова цінність. Додатковою перевагою цього способу є те, що мікроорганізми під високим тиском за мінімального температурного впливу втрачають активність, також деактивуються їхні спори.

Магнітно-резонансне заморожування (MRF) дає змогу утримати воду всередині клітин, уникаючи їх зневоднення, та краще зберегти якість продукту.

Установка складається з холодильної установки та магнітно-резонансного пристрою, що створює у продукті магнітне поле. Спочатку продукт підлягає безперервному впливу магнітних хвиль для перешкоджання кристалізації і отримання переохолодження значно нижче кріоскопічної температури. Після певного проміжку часу, що залежить від виду продукту, вплив магнітних хвиль припиняється. Відбувається різка одночасна кристалізація води у всьому об'ємі переохолодженого продукту, утворюється тонка дрібнодисперсна льодяна структура за відсутності міграції води, небажаного масообміну в клітинах, зневоднення клітин.

5.5. Підморожування харчових продуктів

Підморожування полягає у зниженні температури продуктів дещо нижче за кріоскопічну з утворенням кристалів льоду для поліпшення умов їх зберігання. Найчастіше підморожування використовується для зберігання риби, м'яса та плодів.

Існує два основних способи підморожування продуктів:

1. Продукт вміщують у камеру з температурою не нижче -3°C . Температура продукту поступово знижується, наближаючись до температури повітря камери. Так підморожують рибу, птицю, м'ясо, зимові сорти яблук.

2. Продукт вміщують у морозильну камеру, де за інтенсивного теплообміну з середовищем заморожується периферійний шар певної товщини, і у продукті створюється нерівномірне температурне поле. Температура периферійного шару має бути такою, щоб після вирівнювання температура в товщі продукту становила $-1...-2^{\circ}\text{C}$. Після переміщення продукту до камери зберігання з температурою $-2...-3^{\circ}\text{C}$ відбувається внутрішній теплообмін у продукті за дуже слабкого теплообміну з повітрям камери зберігання, який приводить до встановлення в усьому об'ємі продукту температури, необхідної для зберігання, що наближено дорівнює температурі в камері.

Швидке заморожування периферійного шару сприятливе з технологічного погляду та зручне для організації безперервного підморожування, адже час перебування у морозильній камері невеликий. До того ж, не потрібно обмежувати на першому етапі зниження температури поверхні продукту з метою скорочення необоротності процесу, адже основна маса продукту не зазнає різких змін. Цей спосіб рекомендують для підморожування риби (зокрема у розсолі) та м'яса.

Встановлено, що в підморожених продуктах під час зберігання проходять ті самі внутрішні зміни, що й у охолоджених, але повільніше, тому термін зберігання у підмороженому стані може бути більший. Всихання при цьому буде меншим, а якість продуктів істотно не відрізняється від якості охолоджених продуктів.

5.6. Теплові розрахунки процесу заморожування

Кінцева температура заморожування (як і охолодження) є різною в усіх точках продукту. Середньою кінцевою температурою заморожування називають температуру, що встановиться у замороженому продукті, вміщеному в камеру зберігання, коли зовнішнього теплообміну практично немає (температура на поверхні близька до температури повітря в камері), а внутрішній теплообмін веде до

вирівнювання температури в усьому об'ємі продукту. Її визначають за формулою

$$t_{c.k} = \begin{cases} t_{o.c} + \frac{(1-k)(Bi+2)}{2(Bi+1-k)}(t_{кр} - t_{o.c}) & \text{при } k < 1 \\ t_{o.c} & \text{при } k \geq 1 \end{cases}, \quad (43)$$

де $k = (1/\Phi) - 1$ (див. п. 4.3).

Під час заморожування більшості продуктів до температури в центрі нижче -6°C розподіл температури за товщиною продукту стає близьким до лінійного, тому за середню кінцеву температуру заморожування у наближених розрахунках можна брати середнє арифметичне значення між температурами центру продукту (t_c) і його поверхні (t_n). Для дотримання постійного температурного режиму в камері зберігання з урахуванням вміщення в неї заморожених продуктів одразу після заморожування потрібно, щоб середня кінцева температура продукту після заморожування дорівнювала температурі у камері зберігання.

Важливу роль у збереженні якості продукту відіграє тривалість заморожування. Якщо тривалість буде замалою, то продукт не встигне проморозитися до технологічно необхідної температури, у ньому залишиться зовелика кількість невимороженої води. Це призведе до розвитку небажаних біохімічних і мікробіологічних процесів, і врешті – до псування продукту та грошових втрат. Якщо тривалість заморожування буде зовеликою, то спостерігатимуться значні перевитрати електроенергії на роботу холодильної установки та знизиться продуктивність морозильного апарата. Для деяких способів холодильного оброблення (зокрема підморожування) перевищення необхідної тривалості заморожування призведе до утворення занадто великих кристалів льоду та руйнування структури продукту. Тривалість заморожування важлива не лише для розроблення технологічних режимів холодильного оброблення харчових продуктів, а й для проектування морозильних апаратів, оскільки від неї залежить продуктивність апарата.

Під час заморожування відбувається фазовий перехід води у продукт, змінюються його теплофізичні властивості, виділяється теплота кристалізації води. До того ж межа між замороженою та незамороженою частинами продукту (фронт заморожування) постійно зміщується від поверхні тіла до його центру. У 1913 р. Р. Планк запропонував формулу для розрахунку тривалості заморожування, що з тих пір відома як формула Планка. Ця формула рекомендована Міжнародним інститутом холоду (МІХ) як фундаментальна для розрахунку тривалості заморожування. Тривалість заморожування, τ_0

$$\tau_0 = \Phi \frac{R\rho q w \omega}{t_{кр} - t_{o.c}} \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_{yn}}{\lambda_{yn}} \right), \quad (44)$$

де R – визначальний розмір шматка продукту, м; ρ – густина охолодженого продукту, кг/м^3 ; q – питома теплота кристалізації води, $q = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг; w – вологовміст продукту, кг/кг; ω – частка вимороженої води, яку визначають за залежностями (32), (33); $t_{кр}$ – кріоскопічна температура продукту, $^\circ\text{C}$; $t_{o.c}$ – температура охолодженого середовища, $^\circ\text{C}$; λ – коефіцієнт теплопровідності замороженого продукту, Вт/(м·К), який визначають з довідкової літератури або за

залежностями (38) – (40); α – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні тіла, Вт/(м²·К); Φ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує форму тіла (п. 4.3); $\delta_{\text{уп}}$ та $\lambda_{\text{уп}}$ – відповідно товщина та коефіцієнт теплопровідності для кожного шару пакувального матеріалу чи форми, а також повітряних прошарків між продуктом та шаром пакувального матеріалу. Суму термічних опорів шарів пакувальних матеріалів $\delta_{\text{уп}}/\lambda_{\text{уп}}$ слід враховувати лише для упакованих продуктів. Якщо відомі питомі ентальпії продукту у початковому та замороженому станах, то замість добутку $q\omega$ у формулу (44) доцільно підставляти різницю цих питомих ентальпій.

Класична формула Планка справедлива лише для трьох тіл найпростішої форми – необмеженої пластини завтовшки $2R$, нескінченного циліндра радіусом R і кулі радіусом R . Проте заморожувані продукти мають іншу форму. Тому виведені подібні формули для тіл іншої форми. Так для нескінченного прямокутного бруса (плити) з ребрами $2R_1$ та $2R_2$ (причому $R_1 \geq R_2$ і $\beta = \frac{R_1}{R_2} \geq 1$)

$$\tau_0 = \frac{R\rho q\omega}{t_{\text{кр}} - t_{\text{o.c}}} \left(Q \frac{R}{2\lambda} + \Phi \frac{1}{\alpha} \right), \quad (45)$$

де $R = R_2,$ (46)

$$Q = \frac{\beta}{\beta + 0,7}, \quad (47)$$

$$\Phi = \frac{\beta}{\beta + 1}. \quad (48)$$

Для прямокутного паралелепіпеда з ребрами $2R_1$, $2R_2$ та $2R_3$ (причому $R_3 \leq R_2 \leq R_1$; $\beta_1 = \frac{R_1}{R_3} \geq \beta_2 = \frac{R_2}{R_3} \geq 1$) тривалість заморожування також визначається за формулою (45), але

$$Q = \frac{\beta_1\beta_2}{\beta_1\beta_2 + 0,7\beta_1\beta_2 - 0,15}, \quad (49)$$

$$\Phi = \frac{\beta_1\beta_2}{\beta_1\beta_2 + \beta_1 + \beta_2}. \quad (50)$$

Розроблено також модифікації формули Планка. для розрахунку тривалості проморожування певної товщини, або певної частки об'єму тіла (це важливо для підморожування продуктів), для визначення тривалості заморожування двошарового тіла з різними коефіцієнтами теплопровідності шарів (наприклад пельменів), для випадків коли умови тепловіддачі з різних боків продукту значно відрізняються (наприклад, коли продукт лежить на полиці у камері) та ін.

За формулою Планка можна визначити також і тривалість розморожування продукту, адже ці два процеси подібні: під час заморожування теплота передається через шар замороженого продукту від теплого ядра до холодного середовища, а під час розморожування – через шар розмороженого продукту від теплого середовища до замороженого ядра. Тому для розрахунку тривалості розморожування слід у

відповідну формулу підставити коефіцієнт теплопровідності охолодженого (розмороженого) продукту та густину замороженого продукту.

Під час виведення формули Планка зроблено ряд припущень: питома теплоємність замороженої частини дорівнює нулю; переохолодження немає, льодоутворення повністю відбувається при криоскопічній температурі; теплофізичні властивості замороженої частини не залежать від температури; тіло перед замороженням охолоджене до криоскопічної температури; тіло однорідне, його густина під час заморожування не змінюється; коефіцієнт тепловіддачі і температура охолодного середовища сталі. У реальних умовах жодне з цих припущень не справджується. Тому до формули Планка вводять ряд поправок.

Поправка на ненульову теплоємність замороженої частини. У ідеальному варіанті не врахована кількість теплоти, що відводиться для подальшого охолодження вже замороженого продукту. Якщо теплоємність замороженої частини дорівнює $c_{\text{мор}}$, то до тривалості заморожування, розрахованої за формулами (44) чи (45), слід додати величину

$$\tau_1 = \frac{\rho c_{\text{мор}} R^2}{\lambda} \frac{1 + \ln\left(1 + \frac{0,65}{Bi^*}\right)}{4 + 2|k - 1|}, \quad (51)$$

де

$$Bi^* = \begin{cases} Bi + 1 - k & \text{при } k < 1 \\ Bi & \text{при } k > 1. \end{cases} \quad (52)$$

Тут і далі $k = (1/\Phi) - 1$

Поправка на поступове виморожування вологи. У реальних продуктах клітинний сік переохолоджується нижче криоскопічної температури на 2–5 °С і льодоутворення відбувається при змінній температурі (це пов'язано зі зростанням концентрації розчинених речовин у соку, який ще не кристалізувався). Для врахування цих факторів вводиться поправка:

$$\tau_2 = \frac{-R^2 \rho q w \omega}{\lambda(t_{\text{кр}} - t_{\text{o.c}})} F(Bi, a, k), \quad (53)$$

$$a = \frac{-t_{\text{кр}}}{t_{\text{кр}} - t_{\text{o.c}}}, \quad (54)$$

де $F(Bi, a, k)$ – безрозмірна функція, величина якої залежить від умов заморожування, форми та криоскопічної температури продукту (визначається за довідковою літературою).

Поправка на зміну теплопровідності продукту під час заморожування. Зі зниженням температури та за рахунок льодоутворення теплопровідність продукту буде змінюватись. Для врахування цієї зміни вводиться поправка:

$$\tau_3 = \Phi \frac{R^2 \rho q w \omega}{(t_{\text{кр}} - t_{\text{o.c}})} \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda^2} \frac{b(Bi + 2)}{2Bi} \ln\left(1 + \frac{Bi}{b(Bi + 2)}\right), \quad (55)$$

де λ_0 – коефіцієнт теплопровідності охолодженого продукту (при криоскопічній температурі),

$$b = \frac{2\lambda_0 + \lambda}{3\lambda_0} a. \quad (56)$$

Поправка на початкову температуру тіла. Як правило, продукт надходить на заморожування з температурою, вищою за кріоскопічну. Тому спочатку він охолоджується до кріоскопічної температури на поверхні (середня за об'ємом температура при цьому буде вищою). Після цього починається заморожування продукту. Отже, спочатку слід розрахувати тривалість охолодження продукту до кріоскопічної температури на його поверхні τ_{ox} та середню за об'ємом температуру наприкінці такого охолодження $t_{поч}$ (див. п. 4.3). Додатковий час заморожування

$$\tau_4 = \Phi c_0 R \rho \frac{t_{поч} - t_{кр}}{(t_{кр} - t_{o.c})} \left[\frac{R}{\lambda} \left(2 + \frac{A\chi_0}{k+1} \frac{Bi+2}{Bi} \right)^{-1} + \frac{1}{\alpha} \right], \quad (57)$$

де
$$A = \frac{\lambda_0 q w \omega}{c_0 (t_{кр} - t_{o.c}) \lambda}, \quad (58)$$

$$\chi_0 = \frac{(k+1) \cdot (k+5+2\sqrt{2k+6})}{4} \quad (59)$$

Остаточна тривалість заморожування продукту становитиме

$$\tau = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_{ox} \quad (60)$$

Кількість теплоти, відведеної від продукту під час заморожування,

$$Q_m = G[c_o(t_{п} - t_{кр}) + r_f W \omega + c_m(t_{кр} - t_{ск})], \quad (61)$$

де G – маса заморожуваного продукту, кг; $t_{п}$ – початкова температура продукту, °C; $t_{кр}$ – кріоскопічна температура, °C; $t_{ск}$ – середня кінцева температура продукту, °C; r_f – теплота кристалізації води, Дж/кг; W – вміст води в продукті; ω – частка вимороженої води в продукті при температурі $t_{ск}$; c_o – питома теплоємність охолодженого продукту, Дж/(кг·K); c_m – питома теплоємність замороженого продукту, що визначається при середній температурі між $t_{ск}$ і $t_{кр}$, Дж/(кг·K). Кількість відведеної теплоти визначають за формулою (16).

Якщо продукт доморожується, тобто його початкова температура нижча за кріоскопічну, то кількість відведеної теплоти:

$$Q_d = G[r_f W(\omega_2 - \omega_1) + c_m(t_{п} - t_{ск})], \quad (62)$$

де $t_{п}$ – початкова температура продукту (середня за об'ємом), °C; $t_{ск}$ – середня кінцева температура продукту, °C; ω_1 і ω_2 – частки вимороженої води при температурах відповідно $t_{п}$ і $t_{ск}$; c_m – середня питома теплоємність замороженого продукту, Дж/(кг·K).

Запитання для самоперевірки

1. Що таке заморожування? Який продукт вважається замороженим? Чому заморожені продукти можуть зберігатися довше, ніж охолоджені?
2. Що таке частка вимороженої води? Як її визначити?
3. Як змінюються властивості продукту після заморожування? Як розрахувати теплофізичні характеристики замороженого продукту?
4. Що таке швидкість заморожування? Від чого вона залежить і як впливає на

якість замороженого продукту?

5. Що таке температурний графік заморожування? Як і чому відрізняються графіки заморожування дистильованої води та харчового продукту?

6. Якими способами заморожують продукти? У чому полягають переваги та недоліки охолодження у повітрі, у рідкому середовищі (зрошення, занурення), контактного, криогенного?

7. Що таке підморожування? Як воно здійснюється? У чому полягають переваги та недоліки підморожування порівняно з охолодженням і заморожуванням?

8. Що таке середня кінцева температура заморожування?

9. Як розрахувати тривалість заморожування продукту за формулою Планка? Які модифікації формули Планка використовують? Які поправки до формули Планка слід враховувати і чому?

10. Як розрахувати кількість теплоти, відведеної під час заморожування?

6. ХОЛОДИЛЬНЕ ЗБЕРІГАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

6.1. Загальні відомості

Холодильне зберігання дає можливість цілорічно забезпечити населення високоякісними харчовими продуктами з мінімальними втратами. Тривалість холодильного зберігання значна. Заморожені продукти зберігаються на базисних холодильниках (протягом декількох місяців, а то й років), на підприємствах, у торгівлі, а також у побутових холодильниках споживача (як правило, протягом короткого терміну).

Під час холодильного зберігання, на відміну від холодильного оброблення, не потрібне відведення чи підведення теплоти до продукту. Головна його мета – мінімізувати зміни у продуктах, що зберігаються, та зберегти їх якість. Насамперед для цього слід підтримувати стабільну низьку температуру зберігання, але важливі й інші умови. Під час зберігання можуть використовуватися допоміжні засоби (ультрафіолетове опромінення, змінені газові середовища та ін.), що разом зі зниженою температурою допомагають сповільнити зміни у продуктах.

Інколи під час зберігання ставиться завдання не просто загальмувати зміни, а регулювати їх, зокрема під час дозрівання сирів. У такому разі обирають найсприятливіші для потрібних змін режими зберігання, і холодильне зберігання стає технологічним процесом.

6.2. Режими зберігання продуктів

У камерах зберігання, як правило, застосовують повітряну систему охолодження. Температура зберігання більшості охолоджених продуктів лежить у межах $-2...2\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких температурах сповільнюються (хоча не припиняються) ферментативні процеси та розвиток мікрофлори. Рекомендована відносна вологість повітря для різних продуктів лежить у межах 75–90 %.

Зниження вологості та посилення циркуляції повітря призведе до прискорення усихання неупакованих продуктів. З іншого боку, зависока вологість повітря та його

застої створюють сприятливі умови для розвитку мікрофлори, що неприпустимо. Тому продукт розміщують так, щоб створити можливості для вільного руху повітря у всьому об'ємі камери. Швидкість руху повітря повинна становити від 0,1 до 0,5 м/с. За такої швидкості руху повітря усихання продуктів буде незначним.

Отже, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря є основними параметрами, що визначають режим зберігання продуктів. До режиму зберігання також можна віднести додаткові засоби – застосування опромінення, спеціальних газових середовищ, озонування тощо.

Під час зберігання заморожених продуктів досить низька температура та вимороження води забезпечують набагато сильніше гальмування життєдіяльності мікрофлори та ферментативних процесів, ніж у охолоджених продуктах. Тому основним параметром під час зберігання морозених продуктів є температура, що має становити не вище -18°C , (для деяких високоякісних продуктів бажано не вище -28°C). Примусовий рух повітря у камерах зберігання неупакованих продуктів створювати недоцільно, бо прискориться всихання продукту. Відносна вологість повітря в камерах зберігання морозених продуктів не регулюється, а встановлюється довільно, зазвичай на рівні 95–100 %.

Режимні параметри у камері зберігання залежать від виду продукту, його стану, тари, способу та щільності укладання, міри завантаження камери тощо. У холодильній технології зберігання продуктів виділяють три основні режими: для охолоджених, підморожених і заморожених продуктів.

Охолоджені продукти зберігають при температурі повітря на $0,5\text{--}2^{\circ}\text{C}$ вищій за криоскопічну, за відносної вологості 85–90 % і швидкості руху повітря 0,1–0,2 м/с. Залежно від виду, характеру та наявності упаковки їх укладають неповними штабелями (з урахуванням навантаження на 1 м^2 камери) з прокладанням рейок між рядами, підвішують на гаках підвісних колій чи розкладають на стелажах так, щоб забезпечити вільну циркуляцію повітря навколо них.

Підморожені продукти зберігають при температурі повітря, на $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ нижчій за криоскопічну, за відносної вологості 92–95 % і швидкості руху повітря 0,1–0,2 м/с. Термін зберігання підморожених м'яса, риби та птиці у 2–3 рази довший, ніж охолоджених.

Режим зберігання *морозених продуктів* встановлюють залежно від виду продукту, упаковки, потрібного терміну зберігання. За рекомендацією МІХ заморожені продукти слід зберігати при температурі не вище -18°C за відносної вологості повітря 100 %. Продукти вкладають щільними рядами, щоб уникнути циркуляції повітря всередині штабеля. Камери зберігання завантажують однорідними продуктами чи продуктами з однаковим режимом (а бажано і терміном) зберігання. На сучасних автоматизованих холодильниках зберігають упаковану та розфасовану продукцію в контейнерах, пакетах, на піддонах. Така організація значно спрощує розміщення та вивантаження продуктів.

Протягом зберігання температуру повітря контролюють не менше двох разів на добу, відносну вологість – один раз на добу (у камерах зберігання охолоджених і підморожених продуктів) або один раз на 10 діб (у камерах зберігання морозених

продуктів). Особливу увагу слід приділяти підтриманню стабільного температурно-вологісного режиму та санітарному стану камер, у разі порушення умов зберігання слід вжити заходів для їх усунення.

Для якісного зберігання продуктів потрібно щоб відхилення від заданого режиму були мінімальними. Для цього використовують системи автоматичного регулювання режиму. Також слід скоротити теплонадходження до камер, що порушують температурний режим, впливають на відносну вологість, створюють нерівномірність поля режимних параметрів.

Кожен вид харчових продуктів має певні особливості зберігання, що розглядатимуться далі. Загальними змінами продуктів є втрата маси, зміна зовнішнього вигляду, хімічного складу, консистенції.

6.3. Усихання продуктів під час зберігання

Під час тривалого зберігання охолоджених чи заморожених продуктів з їх поверхні випаровується (сублімується) волога – йде усихання. Через це зменшується маса продуктів, що призводить до збитків. Внаслідок випаровування чи сублімації вологи на поверхні продуктів утворюється зневоднений шар різної товщини. Він має порувату структуру, що сприяє активізації окиснювальних процесів. Через це незворотно погіршуються зовнішній вигляд, харчові та смакові якості продукту.

Випаровування вологи під час зберігання плодів спричинює послаблення тургору (пружності) та в'янення, що прискорює процеси розкладу поживних речовин у клітинах, збільшує їх витрату на дихання, порушує енергетичний баланс. З погляду споживача, в'янення погіршує товарний вигляд і якість плодів та овочів. Випаровування вологи з поверхні під час охолодження фруктів та овочів призводить до зростання концентрації у поверхневих шарах розчинних компонентів, а отже до порушення обміну речовин у тканинах.

Додаткова шкода від усихання полягає у тому, що волога, яка випарувалася з поверхні продукту, випадатиме на поверхні охолоджувальних пристроїв у вигляді снігової шуби. Сніг створить додатковий термічний опір, що змусить знизити температуру та тиск кипіння холодоагенту, а отже перевитратити енергію.

Інтенсивність випаровування вологи залежить від параметрів повітря, виду, стану та розмірів продукту, його упаковки, способу укладання та розміщення в камері, завантаженості камер, системи охолодження, від теплонадходжень тощо. Інтенсивність випаровування вологи зростає з підвищенням температури повітря камер і зниженням його відносної вологості.

Найнижча температура в камері зберігання встановлюється поблизу охолоджувальних пристроїв, найвища – поблизу зовнішніх стін. Різниця температур (а отже і густин) повітря спричинює його циркуляцію. Поблизу батарей повітря охолоджується, досягає точки роси та осушується. Волога конденсується (десублімується) на батареях у вигляді снігової шуби. Під час руху по камері повітря нагрівається, при цьому знижується його відносна вологість. Осушене повітря омиває продукти, поглинаючи вологу з їх поверхні, а потім знову надходить до батарей, де осушується. Інтенсивність такої циркуляції повітря зростатиме зі

збільшенням різниці температур між повітрям у камері та поверхнею охолоджувальних пристроїв. Водяна пара також дифундуватиме від продуктів, поблизу поверхні яких будуть вищими температура та відносна вологість повітря, а отже і парціальний тиск водяної пари, до поверхні охолоджувальних пристроїв.

Механізм усихання під час зберігання значно відрізняється від усихання під час охолодження. Під час зберігання температури поверхні продукту та повітря практично однакові, отже рушійною силою всихання є різниця вологовмістів повітря у камері та поблизу поверхні продукту. Рівняння балансу вологи у камері зберігання з батареями має вигляд:

$$\beta_{\text{пр}} F_{\text{пр}} [d(t_{\text{пр}}) - \phi_{\text{кам}} d(t_{\text{кам}})] = \beta_{\text{б}} F_{\text{б}} [\phi_{\text{кам}} d(t_{\text{кам}}) - d(t_{\text{б}})] , \quad (63)$$

де $\beta_{\text{пр}}$, $\beta_{\text{б}}$ – коефіцієнти масовіддачі відповідно з поверхні продукту та з поверхні батарей, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $F_{\text{пр}}$, $F_{\text{б}}$ – площі поверхні продукту та батарей, м^2 ; $\phi_{\text{кам}}$ – відносна вологість повітря у камері, од; $d(t_{\text{пр}})$, $d(t_{\text{кам}})$, $d(t_{\text{б}})$ – максимальний вологовміст повітря ($\phi=1$) при температурах відповідно поверхні продукту, повітря у камері та поверхні батарей, $\text{кг}/\text{кг}$, які можна визначати за формулою (27).

Продукт і батарея перебувають у практично однакових умовах вологообміну, отже можна вважати, що $\beta_{\text{пр}} \approx \beta_{\text{б}}$. Під час тривалого зберігання температури повітря в камері та поверхні продукту практично рівні. Тоді з (63) можна виразити значення рівноважної відносної вологості повітря у камері:

$$\phi_{\text{кам}} = \frac{\frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{б}}} + \frac{d(t_{\text{б}})}{d(t_{\text{кам}})}}{\frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{б}}} + 1}. \quad (64)$$

Тоді загальна усушка продукту з формули (30) становитиме:

$$\delta m = \beta_{\text{пр}} F_{\text{пр}} \tau d(t_{\text{кам}}) (1 - \phi_{\text{кам}}) = \beta_{\text{пр}} F_{\text{пр}} \tau \frac{d(t_{\text{кам}}) - d(t_{\text{б}})}{\frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{б}}} + 1}. \quad (65)$$

Реальна усушка продукту буде меншою, ніж розрахована за формулою (65). Це пояснюється здатністю продукту опиратися випаровуванню вологи (наявність жирової тканини, шкірочки тощо). Введено коефіцієнт опору випаровуванню μ – відношення кількості води, випареної за однакових умов з вільної поверхні води та поверхні продукту ($\mu > 1$), що визначається дослідним шляхом. Якщо відомий цей коефіцієнт, то значення усушки, отримане за формулою (65), ділять на нього.

Усихання продукту залежить від пори року. Зростання температури навколишнього повітря спричинить зростання теплонадходжень. У камерах знизиться температура поверхні охолоджувальних пристроїв, а отже інтенсивніше йтиме циркуляція, осушуватиметься повітря, випаровуватиметься волога з продуктів і наростатиме снігова шуба. Встановлено, що у малих камерах вплив теплонадходжень на усушку сильніший, ніж у великих.

Усихання продукту відбувається головним чином у поверхневих частинах штабеля. Тому усушка зменшується зі зменшенням питомої поверхні штабеля

(відношення площі поверхні до маси продукту). Збільшення штабеля зменшить усушку. Випаровування зі внутрішніх шарів штабеля залежить від щільності його укладання. Чим щільніше укладений штабель, тем меншою буде усушка.

Усихання також залежить від стану продукту, його хімічного складу. Великий вологовміст (наприклад, у плодів) і волога поверхня продукту спричиняють інтенсивніше усихання, а отже вищу усушку. З часом швидкість усихання зменшується, бо зневоднюються поверхневі шари продукту. Рівень зниження вологовмісту залежить від розміру плоду, будови та стану покривних тканин (зокрема наявності та цілісності воскового шару і шкірочки у фруктів), ступеня стиглості, упаковки, способів і термінів зберігання, інтенсивності дихання та інших факторів.

На усихання впливає і величина питомої поверхні продукту (відношення площі поверхні продукту до його маси): чим більша питома поверхня, тим вища усушка. Дрібні продукти мають більшу питому поверхню порівняно з великими, отже їх усушка буде вищою. Так, усушка неупакованих заморожених м'ясних напівфабрикатів (котлет тощо) буде вищою, ніж м'ясних напівтуш.

Зменшити усушку можна вдосконаленням умов зберігання. Насамперед слід зменшити зовнішні теплонадходження. Це досягається під час проектування холодильника завдяки раціональному вибору теплоізоляції камер та їх розміщенню (наприклад, камери зберігання морожених продуктів оточують холодильними камерами з вищою температурою), застосуванням систем позакамерного охолодження (повітря охолоджується у проміжку між подвійними стінками камери, що забезпечує поглинання зовнішніх теплонадходжень, а отже мінімізує конвективний рух повітря). На працюючих холодильниках слід стежити за станом тепло- та пароізоляції, своєчасно проводити їх ремонт і заміну.

Розміщення та розмір поверхні охолоджувальних пристроїв також суттєво впливають на температурний і вологісний режими в камері. Кількість теплоти, що відводиться охолоджувальними пристроями за одиницю часу, пропорційна площі поверхні охолоджувальних пристроїв і різниці температур між повітрям камери і поверхнею батареї:

$$Q = \alpha F_6(t_{\text{кам}} - t_6), \quad (66)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі.

Для зменшення усушки слід встановлювати батареї у камерах зберігання так, щоб створити у її об'ємі рівномірне та незмінне у часі температурне поле. Також зволожують повітря камери. До камер з додатною температурою вологу подають за допомогою форсунок тонкого розпилу, а до камер з від'ємною температурою – у складі повітря з відносною вологістю 100 %. Ефективним є вкривання штабеля брезентом чи спорудження екрана перед батареєю з наморозуванням льоду на брезенті чи екрані. Використовують харчові покриття, полімерні плівки – як для пакування окремих порцій, коробок чи ящиків продукту, так і для вкривання штабелів. Окремі морожені продукти (наприклад рибу цінних порід) глазурують льодом.

6.4. Хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни

Під час зберігання змінюються колір, консистенція продукту, відбувається ряд

хімічних і біохімічних змін, сутність яких залежить від виду продукту, що зберігається. Продукт частково втрачає харчову цінність, смак, товарний вигляд. Швидкість змін у продуктах залежить від температури – її зниження сповільнює ці зміни.

Серед хімічних змін найсуттєвішим є окиснення жирів киснем повітря, через що змінюється смак і колір продуктів з високим вмістом жирів (сало, масло, жирні породи риб тощо). М'ясопродукти під час зберігання змінюють свій колір внаслідок окиснення гемоглобіну. У продуктах з високим вмістом білків, навіть за умови холодильного зберігання, проходять процеси денатурації та розкладу білків.

Біохімічні зміни в продуктах пов'язані з активністю ферментів, що містяться в них. З моменту припинення життя тварини, птиці, риби різко порушується рівновага обмінних процесів – на зміну процесам синтезу приходять процеси розкладу, пов'язані з незворотними змінами у складі цих продуктів. Результатом біохімічних змін є руйнування структури продукту, зміна його хімічного складу. Інколи біохімічні зміни є необхідною складовою технологічного ланцюга вироблення певних видів продукції, тоді слід забезпечити їх оптимальний перебіг.

Причиною мікробіологічних змін є розвиток мікроорганізмів на поверхні продукту. В процесі охолодження створюються умови, що гальмують розвиток мікроорганізмів, а підсихання поверхні продуктів додатково стримує їх зростання і розмноження. На м'ясі до і після охолодження переважають мезофільні форми мікроорганізмів, психрофільних бактерій порівняно мало, частина мікроорганізмів у процесі охолодження гине чи переходить в стан анабіозу. Швидке охолодження продуктів гальмує розвиток мікроорганізмів.

6.5. Зміни у продуктах рослинного походження

Плоди мають ряд особливостей порівняно з іншими продуктами. Для них властиві високий вміст води (80–90 %), малий вміст вуглеводів, білків, жирів, наявність специфічних речовин – органічних кислот, глікозидів і алкалоїдів, дубильних речовин, ефірних олій, воску, ферментів і пігментних речовин. У фруктах, ягодах та овочах містяться майже всі відомі вітаміни. Яблука, груші та більшість ягід містять пектинові речовини. Їх лікувально-профілактична дія полягає у локалізації та загоєнні виразок, нейтралізації, зв'язуванні та виведенні з організму свинцю, цинку, радіонуклідів, що особливо важливо для екологічних умов України.

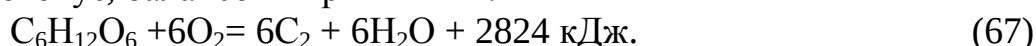
На відміну від продуктів тваринного походження, у плодах життєдіяльність під час зберігання продовжується – досягання плоду йде навіть після відділення від гілки. Процеси, що проходять в плодах і овочах впродовж зберігання, значною мірою є продовженням процесів, що проходять у них під час росту. Однак під час росту поряд з розкладом органічних речовин відбувається активний їх синтез, причому процеси синтезу домінують над процесами розкладу, а в плодах, що зберігаються, насамперед розкладаються речовини з виділенням енергії, потрібної для життєдіяльності клітин.

Плоди мають три стадії досягання. Спочатку настає технічна стиглість (найкращий час для збирання, транспортування, подальшої переробки), згодом – столова (плоди найкраще вживати в їжу) і ще через певний час – ботанічна, або

фізіологічна (насіння плоду повністю визріло). Після досягання відбувається гниття плоду, а його поживні речовини живлять насіння, що проростає.

Основним, досить складним процесом життєдіяльності рослинних організмів є дихання, яке відбувається у ряді проміжних перетворень речовин. За *аеробного* дихання здійснюється поглинання кисню за участю тканинних ферментів, що супроводжується окисненням органічних речовин з подальшим виділенням вуглекислого газу, води та енергії. Насамперед витрачаються вуглеводи, потім органічні кислоти, азотисті, пектинові, дубильні речовини, глікозиди та ін.

Енергія, що виділяється під час дихання, частково використовується клітиною для обмінних реакцій і на процес випаровування, запасається у вигляді хімічно зв'язаної енергії, а також у великій кількості виходить до повітря камери у вигляді теплоти. Наближено можна описати дихальний газообмін між плодами і середовищем, що їх оточує, балансовим рівнянням:



Клітини плодів, використовуючи накопичені раніше запаси поживних речовин, поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ, водяну пару і леткі органічні речовини (етилен і ряд речовин, що разом утворюють аромат плодів). Наслідком є зменшення ваги (природні втрати).

Дихання також може бути *анаеробним* (бродіння без участі кисню). У цьому разі зростають виділення вуглекислого газу та дихальний коефіцієнт, а виділення енергії порівняно з аеробним диханням зменшується. Проте зростає витрата поживних речовин, що витрачаються під час дихання, а отже буде втрачатися маса та харчова цінність продукту.

Інтенсивність дихання визначає інтенсивність досягання, а згодом – псування плоду. На інтенсивність дихання, а отже на втрати продукції впливають різні фактори, пов'язані з плодами: *хімічні та біологічні властивості даного виду плодів, ступінь стиглості* (найвищу інтенсивність дихання мають плоди на перших етапах досягання, потім вона знижується, через деякий час знову зростає, далі плоди перестигають, інтенсивність їх дихання знижується, плоди стають значно вразливішими до захворювань), *розміри* (чим менші розміри плоду, тим швидше він псується, до того ж менші плоди найчастіше є недозрілими чи хворими), *якість* (інтенсивність дихання ушкоджених плодів вища в декілька разів).

Дихання – це хімічна реакція, яку можна сповільнити, зниженням температури. Це є підставою для холодильного зберігання плодів. Проте під впливом охолодження змінюється в'язкість протоплазми, що призводить до порушення її структури та зміни життєздатності клітини. Для збереження нормальної життєдіяльності плодів та овочів за максимального зниження інтенсивності процесів обміну температура має бути низькою, але не нижчою за певну критичну температуру, що визначається фізіологічними особливостями виду та сорту рослини. Також неприпустиме підмороження продукту, тому його температура має бути щонайменше на 1 °C вищою за криоскопічну.

Вплив температури зберігання на інтенсивність дихання плодів в оптимальному температурному діапазоні (0–4 °C) описується залежністю

$$R_t = R_0(1+bt), \quad (68)$$

де R_t , R_0 – інтенсивність дихання плодів у повітряному середовищі відповідно за прийнятої температури зберігання і при 0°C , $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$; b – температурний коефіцієнт швидкості дихання (залежить від виду плодів і їхнього біохімічного складу); t – температура зберігання, $^\circ\text{C}$.

Дихання плодів супроводжується виділенням теплоти. Величина цих тепловиділень пропорційна інтенсивності дихання плодів і може бути визначена за об'ємом виділеного вуглекислого газу. Для наближеного оцінювання кількості теплоти, що виділяється плодами під час зберігання, застосовують залежність

$$q = q_0(1+bt), \quad (69)$$

де q – питома теплота дихання плодів за прийнятої температури зберігання, Вт/т ; q_0 – питома теплота дихання плодів у повітрі при температурі 0°C , Вт/т .

Середні значення, R_0 , q_0 і b для деяких фруктів, наведені в табл. 6.

Таблиця 6.

Технологічні параметри фруктів.

Фрукти	Інтенсивність дихання $R_0 \cdot 10^3$, $\text{м}^3 \text{CO}_2/(\text{т}\cdot\text{год})$	Питома теплота дихання q_0 , Вт/т	Коефіцієнт швидкості дихання, b , $1/^\circ\text{C}$
Яблука	2,24	12,1	0,0932
Груші	2,35	12,6	0,1136
Персики	4,4	23,6	0,1338

На інтенсивність дихання також впливає склад газового середовища, у якому зберігається продукт. За концентрації кисню в межах 40–60 % інтенсивність дихання зростає на 35–50 % порівняно з інтенсивністю у повітрі; якщо вона менша як 10–13 % інтенсивність дихання знижується на 15–20 %; за концентрації кисню нижче 4 % починає розвиватися анаеробне дихання. За концентрації CO_2 в межах 2–6 % інтенсивність дихання становить 85 % від інтенсивності у повітрі, в межах 6–12 % – зниження інтенсивності дихання, а якщо вона перевищує 12 %, різко розвивається анаеробне дихання. Загалом вплив концентрацій кисню і вуглекислого газу в середовищі на інтенсивність дихання плодів описують виразом:

$$R = R_t K_{\text{O}_2} K_{\text{CO}_2}, \quad (70)$$

де R – інтенсивність дихання плодів у газовому середовищі при температурі зберігання, $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$; R_t – те саме, у повітряному середовищі, $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$; K_{O_2} – коефіцієнт зменшення інтенсивності дихання зі зниженням концентрації кисню; K_{CO_2} – те саме, з підвищенням концентрації вуглекислого газу.

Добуток величин K_{O_2} і K_{CO_2} з достатньою точністю визначають за формулою:

$$K_{\text{O}_2} K_{\text{CO}_2} = 0,365 + 2,774 C_{\text{O}_2} - 0,883 C_{\text{CO}_2}, \quad (71)$$

де C_{O_2} і C_{CO_2} – масові частки відповідно кисню і вуглекислого газу в середовищі. Ця залежність справедлива для визначення інтенсивності дихання плодів у газовому середовищі будь-якого складу.

Вегетативні овочі (наприклад картопля) відрізняються від інших тим, що

процес життєдіяльності у них повинен відновитися у наступний сезон. З настанням кінця літа – початку осені такі овочі переходять в стан природного спокою – природного пристосування до умов довкілля. Відбувається тимчасове призупинення процесів життєдіяльності. Тривалість стану спокою у різних видів і сортів овочів різна і регулюється фітогормонами та природними інгібіторами росту. Для збереження вегетативних овочів слід створити умови для забезпечення тривалого і стабільного стану спокою. У кінці зберігання (навесні) починається процес проростання (перехід до генеративної стадії розвитку). По мірі проростання знижується вміст поживних речовин у овочах.

Крім процесів дихання, у продуктах рослинного походження можуть відбуватися патологічні зміни: *побуріння* (збільшення вмісту спирту при зниженій температурі зберігання), *плями засмаги* (вплив етилену, аміаку, вуглекислого газу внаслідок їх накопичення), *захворювання*, що виникають через ослаблення плодів при низькій температурі зберігання.

Продукти рослинного походження містять багато води, тому вони є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Мікроорганізми розмножуються, викликаючи зараження насамперед травмованих плодів, а згодом і здорових. Найпоширенішими з хвороб плодів є чорна цвілеподібна гниль і мокра бактеріальна гниль. Фрукти стійкіші до мікробіальних впливів, ніж овочі, бо мають щільну оболонку, вкриту воскоподібними речовинами.

Під час холодильного зберігання плодів та овочів відбуваються істотні хімічні зміни вуглеводів, пектинових речовин, вітамінів, що значною мірою визначають харчову цінність цих продуктів.

Найзначніші зміни відбуваються у вуглеводах, що витрачаються клітинами в процесі життєдіяльності в період післязбирального досягання. Вміст крохмалю у деяких плодах і овочах зменшується внаслідок його ферментативного оцукрювання. Загальна кількість цукрів при цьому зростає, а потім починає знижуватися, бо йде дихання. У деяких культурах крохмаль під час зберігання синтезується (квасоля, цукрова кукурудза, горох тощо).

У процесі зберігання кількість цукрози, протопектину, геміцелюлоз, органічних кислот зазвичай знижується, а розчинного пектину зростає. Внаслідок переходу частини протопектину в пектин твердість плодів зменшується. Швидкість перетворення вуглеводів та характер змін залежать від виду і сорту, міри стиглості, умов зберігання та інших факторів. У міру старіння плодів розчинний пектин розкладається до полігалактуранової кислоти і метилового спирту, внаслідок чого тканини розрихлюються, клітини отруюються, виникають функціональні розлади.

Під час зберігання змінюється вітамінний склад плодів та овочів. Найбільше втрачається (особливо в період перестигання) вітамін С. Зі зниженням температури зберігання втрати вітаміну С зменшуються.

На шляху від поля до споживача плоди зазнають різноманітних впливів: механічних (пошкодження), теплових (вплив підвищеної температури), часових (витримування плодів). Під дією цих факторів, процесів життєдіяльності, а також впливу паразитів і хвороб погіршується якість плодоовочевої продукції і

втрачається певна її кількість. Втрати маси продукту від дихання та через втрату вологи називають природними. Вони призводять до зменшення маси кожного плоду, але кількість плодів лишається сталою. Втрати через механічні пошкодження, хвороби та ураження шкідниками призводять до відбракування певної частини плодів. Зниження якості плодів не призводить до їх фізичної втрати, проте знижує ціну продажу. Всі зазначені втрати ведуть до фінансових збитків.

6.6. Зміни у продуктах тваринного походження

Холодильному обробленню підлягає більша частина продуктів тваринного походження: м'ясопродукти, рибопродукти, яйця, молочні продукти, жири та ін.

Зміни властивостей продуктів під час холодильного зберігання зумовлені процесами (фізичними, біохімічними, мікробіологічними та ін.), що відбуваються в них і в одних випадках поліпшують споживчі властивості продуктів, а в інших спричиняють їх псування. Тому метою холодильного оброблення і зберігання продуктів є забезпечення сприятливого проходження перших (автоліз м'яса тощо) і мінімізація других (усихання, мікробіологічні зміни, окиснення тощо).

У процесі холодильного зберігання м'яса вирішальну роль під час його визрівання відіграє протеоліз (ферментативне гідролітичне розщеплення білків), що каталізується катепсинами – групою протеолітичних ферментів. Вони зосереджені в лізосомах, що легко пошкоджуються. У разі руйнування мембран лізосом ферменти контактують з відповідними субстратами і каталізують їх розкладання. Поведінку цих ферментів за різних режимів холодильного оброблення і зберігання м'яса складно спрогнозувати через значну кількість взаємопов'язаних факторів і недостатню їх вивченість. Загалом зі зниженням температури активність ферментів зменшується, причому залежить від тривалості впливу на них низьких температур. Швидкість більшості ферментативних реакцій, визначають за рівнянням Арреніуса:

$$V = V_0 l^{\frac{E_a}{RT}}, \quad (72)$$

де V_0 – константа швидкості, що не залежить від температури; E_a – енергія активації; R – газова стала; T – абсолютна температура, К.

Не всі ферменти підкоряються цій залежності. Деякі повністю деактивуються при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді як інші ферментативні реакції проходять навіть при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Важливу роль у процесі холодильного зберігання відіграють ліпопротеїдні комплекси (ЛПК) м'язової тканини м'яса і риби. Вони становлять основу клітинних мембран, беручи участь у регулюванні активності ферментів, що містяться в мембранах, а також в механізмах транспортування багатьох речовин. Нативна структура мембранних ЛПК дуже чутлива до недостатнього енергозабезпечення, що виникає в післязабійний період.

Під час зберігання охолодженого чи замороженого м'яса нативні ЛПК руйнуються і створюються сприятливі умови (температура, рН середовища та ін.) для вторинної взаємодії жирів та продуктів їх окиснення з частково денатурованими білками – утворюються вторинні ЛПК. Вони, відмінні від нативних за природою, міцністю зв'язку складових, розчинністю, амінокислотним складом, мірою перетравлюваності та рядом інших властивостей, що формують якість м'яса. Взаємодія

білка з продуктами окиснення жирних кислот супроводжується значною зміною його властивостей. Менша розчинність білка, здатність до утворення полімерів, стійкість до розкладу протеолітичними ферментами значно знижують харчову цінність і якість продукту в цілому. Первинні і вторинні продукти, що утворюються під час окиснення жирних кислот впливають на інші компоненти м'язової тканини. Зазнають змін вітаміни, пігменти, ароматичні речовини. Ці процеси призводять до зміни запаху, смаку, кольору м'яса та риби, зниження їх біологічної цінності. Про зміни, що почалися у складі хімічних компонентів м'язової тканини можна дізнатися за вмістом низькомолекулярних летких речовин, зокрема амінів.

Динаміка зміни вмісту амінокислот під час зберігання м'яса, крім їх накопичення внаслідок протеолізу, визначається також їх розкладом через декарбоксилювання і дезамінування з вивільненням аміаку (близько 99% від вмісту летких сполук). Швидке накопичення аміаку в м'ясі в процесі зберігання може вказувати на розвиток у ньому мікроорганізмів. Зниження температури зберігання м'яса затримує розвиток мікроорганізмів, і накопичення аміаку відбувається повільніше. Декарбоксилювання амінокислот призводить до утворення у м'ясі та рибі амінів (метиламін, диметиламін, а в рибі, крім того, триметиламін, триетиламін, ізобутиламін), що є нестійкими сполуками і швидко руйнуються.

Якісний склад амінокислот у процесі зберігання продукту визначається багатьма факторами і залежить від активності різних ферментів м'язової тканини, що каталізують протеоліз у цілому та індивідуальні перетворення амінокислот, від амінокислотного складу розщеплюваних білків, їх кількості і міри атакованості ферментами, змін рН, температури та інших взаємопов'язаних факторів.

Найповніше вивчена на даний час зміна нуклеотидів – аденозинтрифосфорної (АТФ), аденозиндифосфорної АДФ, аденозинмонофосфорної (АМФ) кислот. Упродовж зберігання м'яса кількість фосфорильованих нуклеотидів досить швидко знижується, а гіпоксантину зростає. Швидкість розкладу нуклеотидів залежить від температури і тривалості зберігання. Спонтанний розклад АТФ проходить до утворення АМФ – відносно стійкого продукту.

Під час зберігання м'яса, птиці і риби відбуваються хвилеподібні зміни елементів окисно-відновної системи, наслідком чого є істотне зниження вмісту аскорбінової кислоти. Вона захищає від окиснення білки, які містять HS-групи, що визначають стійкість цих білків до заморожування. Збережуваність аскорбінової кислоти зростає зі зниженням температури зберігання.

Зміни жирів (ліпідів), що входять до складу тканин, пов'язані зі змінами інших компонентів, і в їх основі лежать важливі хімічні і біохімічні процеси. Основними процесами, що визначають зміни ліпідів, є гідроліз і окиснення. Глибина і швидкість зміни складу і властивостей ліпідів у цих процесах відіграють головну роль у формуванні таких важливих показників якості м'ясних і жирових товарів, як колір, запах і смак. Процеси зміни ліпідів відбуваються внаслідок хімічних, біологічних і ферментативних перетворень, що проходять паралельно, але приводять до утворення одних і тих самих проміжних і кінцевих продуктів (перекисів, вільних жирних кислот, альдегідів, кетонів, продуктів полімеризації та ін.). Здатність жирів

сполучатися з киснем залежить від ступеня ненасиченості жирних кислот, наявності супутніх речовин, що є активаторами чи інгібіторами окиснення, слідів важких металів, тепла, світла та ін. Різноманітність реакцій взаємодії ліпідів з іншими складовими клітин упродовж зберігання продуктів зростає, бо продукти ферментативного розкладу ліпідів реагують з ними досить специфічно.

Швидкість процесів гідролізу й окиснення ліпідів визначається активністю ліполітичних ферментів, що значною мірою залежить від температури. Так, інтенсивність гідролізу зменшується зі зниженням температури зберігання м'яса. Встановлено, що активність ліполітичних ферментів свинини нижча, ніж у риби, м'яса великої рогатої худоби і домашньої птиці, що пояснюється видовими розбіжностями і функціональними особливостями досліджуваних м'язів. Про інтенсивність гідролізу судять насамперед за вмістом вільних (неетерифікованих) жирних кислот (НЕЖК). Загальний рівень накопичення НЕЖК і їх якісний склад під час холодильного зберігання продуктів тваринного походження залежать від складу тканинних ліпідів, умов і тривалості зберігання активності ліполітичних ферментів, джерела утворення НЕЖК, типу м'язів, видових відмінностей та інших факторів.

Якість і кількість НЕЖК, що накопичуються внаслідок гідролізу ліпідів, істотно впливають на швидкість і глибину їх подальшого окиснення. Чим вища швидкість накопичення і міра їх ненасиченості, тим інтенсивніше проходить процес окиснення і такий жир псується раніше. Саме цим визначаються відмінності у термінах зберігання риби, птиці, м'яса і м'ясопродуктів. Позаяк процеси окиснення жирів відносять до типу ланцюгових реакцій, то зі збільшенням термінів зберігання м'яса і риби ступінь окиснення збільшується.

Під час зберігання свинячого жиру інтенсивність процесів окиснення у ньому зменшується зі зниженням температури, а гідроліз проходить відносно повільно.

Вершкове масло відрізняється від інших жирів тваринного походження більшою різноманітністю жирних кислот (містить насичені низькомолекулярні жирні кислоти, ненасичені жирні кислоти) і високим вмістом води (25 % і більше). Це значною мірою визначає консистенцію і стійкість продукту. Під час зберігання у вершковому маслі проходять фізичні, хімічні, біохімічні і мікробіологічні процеси, тому можуть відбуватися небажані зміни, спричинені окисненням молочного жиру, що зазвичай передуює його гідролізу, але може проходити і одночасно.

Гідролітичні процеси у ліпідах вершкового масла при -10°C і -18°C проходять досить активно, причому інтенсивність гідролізу і швидкість наростання НЕЖК при -18°C більша, ніж при -10°C (аномальний гідроліз вершкового масла). За органолептичними властивостями масло, що зберігалось при -10°C , виявилось краще, ніж масло, температура зберігання якого була -18 і навіть -27°C . Це явище пояснюється відмінностями в швидкості утворення і окиснення НЕЖК, що виникають під час зберігання масла. Внаслідок ферментативного гідролізу молочного жиру, що триває при від'ємних температурах, НЕЖК накопичуються досить інтенсивно, а швидкість процесу їх окиснення зі зниженням температури зменшується. За сповільнення процесу окиснення тривалість збереження жирних кислот у неокисненому стані збільшується, внаслідок чого загальний вміст НЕЖК

при нижчій температурі зберігання буде вищим. Активність ліполітичних ферментів тісно пов'язана з перетворенням води на лід. Позаяк процес кристалізації води в маслі починається, як правило, при температурі нижче -10°C , то і процес активації ферментів починається приблизно при цій температурі, чим пояснюється накопичення НЕЖК при нижчій температурі.

Одним з найпоширеніших видів псування вершкового масла є штаф – наслідок фізико-хімічних змін, що зовні виявляються у появі на поверхні масла темнозabarвленого шару з неприємним гіркуватим чи приторно-ядучим смаком, своєрідним затхлим чи гнильним запахом. В основі цього явища – процеси полімеризації гліцеридів і окиснення молочного жиру, що розвиваються на фоні зневоднення поверхневого шару масла. Інтенсивність утворення штафу і міра його виразності залежать від якості сировини, способу вироблення масла, умов і термінів зберігання, упаковки. Швидкість його утворення велика, і при температурі -10°C штаф утворюється вже через 2 тижні.

Вуглеводи містяться в тваринних тканинах у незначних кількостях, але вони легко розкладаються, є найактивнішими з метаболічного погляду і особливо чутливі до мінливих умов функціонального стану м'язової тканини. Вуглеводи (зокрема моносахариди та їх похідні) беруть участь у формуванні найважливіших споживчих властивостей м'яса. Завдяки своїй високій реакційній здатності вони легко взаємодіють з іншими компонентами м'яса, утворюючи ряд сполук, у тому числі і низькомолекулярних, що визначають смак і запах продукту.

Вуглеводи розкладаються у м'язовій тканині у післязабійний період досить інтенсивно: спочатку аналогічно прижиттєвому механізму окиснення вуглеводів; після припинення кровообігу і надходження кисню до тканин окиснення триває за рахунок кисню міоглобіну м'язів. Цей кисневий резерв невеликий, і у м'язах швидко настає стан кисневої недостатності. Через це розклад з аеробного переходить у анаеробний, що закінчується утворенням молочної кислоти і зниженням рН м'язової тканини. Водночас білки і жири у цей період перетворюються із відставанням. Здатні до анаеробного розкладення вуглеводи продовжують активно розкладатися. Зумовлені перетвореннями вуглеводів швидкі зміни рН м'язової тканини є першою ланкою подальших перетворень складових м'яса.

Якість кулінарно обробленого м'яса і готових м'ясних виробів залежить від властивостей м'яса. Чим менша його жорсткість, вища здатність до утримання вологи, тим ніжнішою і соковитішою буде готова продукція, кращими її смак і аромат, перетравлюваність і засвоюваність, вища харчова і біологічна цінність. Ніжність м'яса – один з найважливіших показників його якості – залежить від розчинності білків. Зі зростанням ніжності спостерігається поліпшення смакових і ароматичних властивостей м'яса і отриманого з нього бульйону.

У післязабійний період у м'ясі відбуваються автолітичні зміни, що зумовлені дією тканинних ферментів і істотно впливають на якість м'яса. Одразу після забиття тварини починається процес *визрівання*, який проходить під впливом різноманітних біологічно активних сполук, що містяться у самому м'ясі. Визрівання складається з двох фаз (стадій): у першій стадії (післязабійного задубіння) переважають процеси

задубіння м'язів, у другій відбуваються розм'якшення м'язової тканини і накопичення продуктів, що формують споживчі властивості м'яса. На цій стадії м'язові білки підлягають різного ступеня денатурації і протеолізу. Тривалість кожної стадії залежить від умов холодильного оброблення і зберігання продуктів тваринного походження.

М'ясо, отримане одразу після забиття тварини (парне), протягом перших трьох годин має високу здатність до поглинання і утримання вологи, що зумовлює його ніжну консистенцію після теплового оброблення. В парному м'ясі міститься значна кількість глікогену, АТФ, креатинфосфорної кислоти (КФ), білки міозин і актин не зв'язані між собою, розварюваність колагену сполучної тканини дуже висока (близько 23 %), кількість зв'язаної вологи 80–90 % загального вологовмісту м'яса. М'язові волокна парного м'яса у перші 2–3 год після забиття набряклі. Варене парне м'ясо не має вираженого аромату, характерного для визрілого м'яса, але цілком придатне для вироблення варених ковбас і холодильного оброблення. М'яка консистенція і висока вологоутримувальна здатність парного м'яса зумовлені тим, що білки перебувають у нативному стані і розчинність їх максимальна через велику кількість гідрофільних груп, здатних зв'язувати значну кількість води.

Через 4–6 год після забиття тварини настає посмертне задубіння, що починається з м'язів кінцівок і серця, які за життя тварини працюють найнапруженіше. Задубіння проходить по-різному і залежить від температури, віку і вгодованості тварини. У цей період значно змінюються фізико-хімічні властивості м'яса: жорсткість і опір розрізуванню зростають удвічі, зменшуються кількість зв'язаної води, та здатність м'яса до гідратації. Таке м'ясо найменш придатне для кулінарного оброблення, бо має недостатній аромат і смак і залишається жорстким.

Посмертне задубіння має загальнобіологічну природу і єдиною для всіх тварин спрямованість процесів. Серед них: розклад глікогену, КФ і АТФ, асоціація актину і міозину в актоміозиновий комплекс, зміна гідратації м'язів. Деякі з цих процесів є прямою причиною задубіння, інші впливають на нього опосередковано.

Внаслідок припинення доступу кисню до клітини припиняється аеробна фаза енергетичного обміну, у якій проходить ресинтез м'язового глікогену, і залишається лише *анаеробна фаза* – розклад глікогену (гліколіз) шляхом фосфорилування з участю АТФ. Через відсутність кисню в тканинах акцептором протонів і електронів за анаеробних умов стає пірвіноградна кислота, що відновлюється при цьому до молочної. Анаеробні процеси розкладу глікогену, накопичення молочної кислоти і зниження величини рН закінчуються в м'ясі загалом через 24 год зберігання при 4 °С, рН м'язової тканини при цьому зменшується з 7,0 до 5,6–5,8. Це гальмує розвиток гнильних мікроорганізмів.

Вміст молочної кислоти і величина рН є важливими показниками якості м'яса. Від них залежать стійкість м'яса під час зберігання і його технологічні і споживчі властивості (вологоємність, кількість вологи, що виділяється під час теплового оброблення, і м'ясного соку під час розморожування). У міру зниження величини рН створюються сприятливіші умови для дії м'язових катепсинів, що має велике значення для подальшого визрівання м'яса.

У м'язах здорових, вгодованих, відпочилих тварин міститься до 0,8 % глікогену, а у м'язах утомлених і виснажених його кількість менша, молочна кислота накопичується повільно і рН не перевищує 6,2–6,5. Розклад глікогену, що йде після забиття тварини, ніколи не доходить до кінця, і незалежно від кінцевої величини рН (а вона не може бути нижча як 5,5) і тривалості післязабійного зберігання у м'ясі зберігається деяка його кількість.

В організмі тварини КФ і АТФ поряд з глікогеном є акумуляторами енергії, що використовується в процесах скорочення м'язів. Одразу після забиття проходить швидке розкладання КФ і адекватний йому ресинтез АТФ, рівень якого зберігається до швидкої фази задубіння. Доки є запас глікогену, не може відбутися повний розклад АТФ, тому м'яз не переходить до стану задубіння. Коли вміст АТФ сягає критичної концентрації, настає швидке задубіння. Через 12 год після забиття тварини розкладається до 90 % первинного вмісту АТФ з великим виділенням теплоти.

За несвоєчасного охолодження післязабійне виділення теплоти призводить до загару – вади, через яку м'язова тканина в глибинних шарах набуває сіруватого відтінку і неприємного запаху. Через повільне відведення теплоти температура в глибинних шарах м'яса може сягати 40 °С і вище, починається денатурація термолабільних білків, відбуваються процеси розкладу окремих поліпептидів з виділенням вільних амінокислот, що часто містять сірку. Міоглобін переходить у метміоглобін. Все це призводить до псування м'яса. Небезпека появи загару особливо велика у вгодованих тварин, м'язи яких містять більше глікогену. Для уникнення загару м'ясо слід швидко охолодити. У разі появи перших його ознак на товстих частинах напівтуші роблять надрізи, що забезпечує доступ кисню та прискорює зниження температури.

Після забиття м'яз перебуває у стані дуже високої гідратації. Впродовж першої доби зберігання спостерігається сильне падіння здатності м'язової тканини утримувати воду. Мінімум гідратації і максимум жорсткості м'яса збігаються у часі. Внаслідок зниження здатності до утримання вологи м'язової тканини зменшується вихід м'яса і виробів з нього після теплового оброблення.

Отже, в період післязабійного (посмертного) задубіння м'язів вирішальну роль відіграють скорочувальні білки м'язової тканини. Вони утворюють міцні білкові комплекси, що надають м'ясу підвищену жорсткість, щільність, знижують його здатність утримувати вологу.

Зі зниженням температури зберігання затримується настання і закінчення першої фази визрівання м'яса, бо сповільнюються біохімічні процеси, що проходять у м'язовій тканині. Так, якщо при 16–18 °С яловичина перебуває у стані задубіння 1 добу, то при 0 °С – 2 доби. За повільного охолодження м'яса відбувається глибший процес задубіння, ніж за швидкого, бо швидше розкладається глікоген і зростає вміст молочної кислоти.

На другій стадії визрівання м'яса відбувається ряд змін його властивостей, зумовлених поглибленням автолізу, внаслідок яких м'ясо набуває виразних аромату і смаку, стає м'яким і соковитим і краще підлягає дії ферментів травлення порівняно з м'ясом у стані посмертного задубіння. Процес визрівання пов'язаний зі зміною

складу і стану основних компонентів м'яса. У цьому процесі вирішальною є роль ферментів. Від їх активності залежать загальний напрямок і швидкість перебігу процесів розкладання під час зберігання м'яса. М'ясо молодих тварин і птиці визріває швидше, ніж старих. Зміни у м'ясі хворих і втомлених тварин менш глибокі і менш виразні, ніж у м'ясі здорових і відпочилих тварин.

Друга стадія визрівання настає через 2 доби зберігання м'яса при низьких додатних температурах, коли починається протеоліз білків. З протеолізом міофібрилярних білків під час визрівання м'яса зростає кількість N-кінцевих груп внаслідок розриву пептидних зв'язків у білках фракції міозину, що призводить до зменшення жорсткості м'яса. Поліпшення консистенції м'яса зумовлене не лише руйнуванням поперечних зв'язків актоміозинового комплексу й обмеженим протеолізом міофібрилярних білків, а й дезінтеграцією z-пластинок саркомерів.

Протягом другої фази розчинність білків зростає, але не досягає значень розчинності білків парного м'яса. Це пояснюють незворотністю процесу їх денатурації, що почався під час визрівання м'яса. На розчинність білків м'язової тканини істотно впливає перерозподіл іонів Ca, Mg, Zn, що відбувається під час визрівання.

Ліпіди м'яса одразу після забиття тварини підлягають впливу м'язових ліпаз. Оптимум їх дії лежить у слабколужному середовищі (рН 7,3–7,5). Чим більші запаси глікогену в м'язах, тим інтенсивніше його розкладання і значніше зниження рН тканин. Через це у міру розкладу глікогену активність м'язових ліпаз зменшується.

Процеси окиснення (дегідрування) в анаеробних умовах, що виникають у тканинах одразу ж після забиття тварин, через нестачу акцепторів водню активно не розвиваються. Процес припиняється на стадії утворення гідрокси- і кетокислот, які під дією тканинних декарбоксилаз перетворюються на кетони, що мають неприємний специфічний запах і можуть спричинити псування продукту. Зі зниженням температури ферментативні процеси розкладу ліпідів сповільнюються.

Важливу роль у якості м'яса відіграють кількість і стан компонентів сполучної тканини. В процесі визрівання ступінь перетворень різних компонентів м'яса різний, тому за рівних умов ніжність різних відрубів м'яса однієї тварини, а також однакових відрубів різних тварин буде різна. Ніжність м'яса, що містить значну кількість сполучної тканини, порівняно мала, і воно потребує тривалішого визрівання.

Сире визріле м'ясо має дещо кислуватий запах, аромат не ясно виражений. Приємних смаку і аромату воно набуває після теплового оброблення, під час якого речовини, що беруть участь у формуванні цих властивостей м'яса, підлягають складним перетворенням – розкладу з утворенням нових сполук.

Смак і аромат вареного м'яса і бульйону поліпшуються у міру накопичення у сирому м'ясі вільних амінокислот, моносахаридів, продуктів розкладу нуклеотидів, летких карбонільних сполук та ін. Внаслідок протеолізу білків і розкладу поліпептидів на другій стадії визрівання м'яса загальний вміст вільних амінокислот зростає і на другу добу зберігання при температурі 2 °С перевищує їх кількість у парному м'ясі, а під час подальшого зберігання зростає ще більше.

У процесі визрівання в м'ясі продовжують накопичуватися глюкоза, фруктоза, та інші моносахариди. Під час теплового оброблення проходять меланоїдинові

реакції, в ході яких вільні амінокислоти взаємодіють з моносахаридами: утворюються меланоїдини, що беруть участь у створенні смаку і аромату м'яса.

Під час розкладу нуклеотидів зростає вміст інозинової кислоти, інозину, гіпоксантину. Інозинова, гуанілова і глютамінова кислоти, а також їх натрієві солі надають супам і бульйонам специфічного смаку і аромату. Вміст карбонільних сполук у м'ясі постійно зростає і до кінця терміну визрівання перевищує їх кількість у парному м'ясі більш ніж удвічі. Леткі карбонільні сполуки самі мають певний запах, а також можуть брати участь у меланоїдиноутворенні.

Колір м'яса – один з найважливіших показників, що визначають його товарний вигляд. Він залежить від вмісту і фізико-хімічних змін міоглобіну і гемоглобіну – складних білків, що належать до групи хромопротеїдів.

Хромопротеїди – це складні білки, до складу небілкової частини яких входять забарвлені сполуки. До них належать деякі ферменти (цитохроми, каталаза) і киснезв'язувальні білки (гемоглобін і міоглобін). Простетичною групою (тобто небілковою частиною) цих білків є залізовмісна сполука червоного кольору (гем), здатна сполучатися з різними газами, в тому числі і з киснем.

Міоглобін відіграє вирішальну роль у формуванні кольору м'яса. Позаяк фізичне навантаження м'язів (а отже і постачання їх киснем) різне, вміст міоглобіну, а отже і колір м'яса різняться не лише у різних видів тварин, але і у різних м'язів однієї тварини. Кількість міоглобіну в м'язах залежить від віку і активності тварин.

Сполука міоглобіну, що містить двовалентне залізо, з киснем (оксиміоглобін) надає м'ясу яскравого світло-червоного кольору. Споживча оцінка такого м'яса найвища. Окиснений і вже нездатний сполучатися з киснем міоглобін, до складу якого входить метміоглобін, зумовлює брунатно-бурий колір м'яса, а відновлений, здатний сполучатися з киснем міоглобін, що містить тривалентне залізо, – темно-червоний колір. Співвідношення цих похідних міоглобіну, одночасно наявних у м'ясі, визначає його колір. Колір поверхні свіжого м'яса, що зберігається у повітрі, залежить насамперед від співвідношення окисненого міоглобіну і метміоглобіну, а колір внутрішніх шарів – від вмісту міоглобіну. Колір м'яса оцінюють комплексно: спектрофотометричним (за співвідношенням похідних міоглобіну) та органолептичним способами.

Утворення оксиміоглобіну в м'ясі пов'язане зі швидкістю та глибиною дифузії кисню до м'язової тканини. На поверхні свіжого м'яса, що зберігалось у повітрі, на глибині 1–2 мм є світло-червоний шар оксиміоглобіну, під ним – невелика зона метміоглобіну, ще глибше переважає його темно-червоний шар. Глибина розміщення світло-червоного шару оксиміоглобіну залежить від температури зберігання продукту: при низьких температурах кисень дифундує у м'ясо глибше, ніж при високих. У поверхневому шарі м'яса є всі форми міоглобіну, але у різних співвідношеннях.

У процесі визрівання м'яса поліпшуються якість і засвоюваність усіх його видів, зокрема м'яса великої рогатої худоби, що має щільну консистенцію. Завдяки зміні білкових речовин, а також посиленню смаку і аромату м'ясо стає доступнішим до впливу ферментів травлення. Так, однодобове м'ясо перетравлюється у шлунку за 6,5 год, а десятидобове – за 4 години. Визріле м'ясо має вищу харчову цінність,

ніж м'ясо в стані задубіння.

Встановлені оптимальні терміни визрівання, що гарантують найвищу ніжність м'яса і його найкращі смакові й ароматичні властивості, але кожна з них сягає оптимуму у різні терміни зберігання. Для м'яса великої рогатої худоби рекомендують такі умови і терміни визрівання: при 0 °С – 12–14 діб, при 8 – 6, при 16–18 °С – 4 доби. Баранина і свинина визрівають у коротші терміни: при 0 °С – відповідно через 8 і 10 діб. Для м'яса, що йде на промислову переробку, рекомендується скоротити витримування за 0 °С, бо під час технологічного оброблення процес визрівання триває: для виробництва ковбас – 1–2 доби, для консервів і напівфабрикатів – 5–7 діб.

На якість м'яса впливає також швидкість його холодильного оброблення у початковий період визрівання. Якщо парне м'ясо з високим значенням рН швидко охолоджувати чи заморожувати до настання стадії задубіння, то при температурі м'язів близько 10 °С виникає так зване "холодове скорочення", чи ущільнення м'язів, що не є повністю зворотним і призводить до підвищення жорсткості м'яса. Холодове скорочення має таку саму природу, що й післязабійне задубіння, але розвивається воно на фоні швидкої зміни температур охолоджуваних м'язів. Для швидкого охолодження характерний високий темп зниження температури (до 4 К/год і більше), що є вирішальним фактором розвитку холодового скорочення. М'ясо дрібних тварин і птиці охолоджується швидше, ніж великої рогатої худоби, тому небезпека холодового скорочення для такого м'яса вища.

На ефект холодового скорочення впливають вгодованість тварини, стан м'язів та інші фактори. Так, свинина з товстим шаром сала через повільний теплообмін охолоджується так повільно, що холодове скорочення практично не відбувається. Якщо напівтуші перебувають у підвішеному стані і м'язи прикріплені до скелета, скорочення м'язів зменшується. Важливо, що концентрація АТФ у м'язах швидко охолодженого м'яса (внаслідок сповільнення розкладу АТФ за зниження температури) вища, ніж у м'язах поступово охолоджуваного м'яса. Тому жорсткість м'яса за холодового скорочення вища, ніж за посмертного задубіння.

Найефективніші методи боротьби з холодним скороченням пов'язані з примусовим зменшенням вмісту АТФ у м'язах м'яса до початку його швидкого охолодження. Один з них – метод електростимуляції, що дає змогу запобігти холодному скороченню м'яса шляхом пропускання електричного струму крізь парні туші, напівтуші і відруби. Електростимуляцію проводять на будь-якому етапі технологічного оброблення худоби (після знекровлення, зняття шкіри чи розпилювання туш на напівтуші) імпульсним і змінним струмом (напруга – 240–250 В, частота – 40–60 Гц, час – 1–3 хв).

При пропусканні струму одразу після забиття рН зменшується з 7,0–7,3 до 5,7 через 2 години. У туш, що не підлягали електростимуляції, це відбувається лише через 7–9 діб і більше. Зі зниженням рН вивільнюються ферменти, що викликають розклад білків. Електростимуляція підвищує активність тканинних катепсинів, викликає фізичне розтягнення та розрив м'язів, прискорює біохімічні зміни. Впродовж електростимуляції протягом 2 хвилин у м'язах відбуваються такі

біохімічні зміни, які у звичайних умовах тривають 7 годин. Застосування електростимуляції ефективно для прискорення розм'якшення (тендеризації) охолодженого, замороженого, розмороженого м'яса. М'ясо, що пройшло електростимуляцію, має ніжну консистенцію, природний колір і добрий смак. Таке оброблення рекомендується для м'яса, призначеного для використання в парному вигляді у ковбасному виробництві чи в охолодженному вигляді після 7–8-добового зберігання для вироблення натуральних напівфабрикатів.

Найістотніші зміни у молоці та молочних продуктах – мікробіологічні та біохімічні. Молоко у вимені худоби майже не містить мікроорганізмів. Більш того, щойно видоєне молоко має бактерицидні властивості. Завдяки наявності таких бактерицидних речовин, як лактенін, лізоцим та поверхнево-активний фосфоліпід, розвиток бактерій у ньому пригнічується. У разі нагрівання свіже молоко такі властивості втрачає. Період, протягом якого у молоці не розмножуються бактерії, називається бактерицидною фазою. Її тривалість залежить від вмісту бактерій у молоці, температури його зберігання, виду молока. При температурі 37 °C (без охолодження) тривалість бактерицидної фази становить близько 2 год, при 10 °C – 24, а при 0 °C – 48 годин.

Після закінчення бактерицидної фази у молоці розмножуються мікроорганізми. Вони призводять до скисання молока: внаслідок утворення молочної кислоти частки казеїну коагулюють, руйнуючи структуру молока. Якщо молоко охолоджене, то розмноження та розвиток мікроорганізмів значно сповільнюються. Саме тому на фермах молоко має бути якнайшвидше охолоджене.

Молочний жир легко піддається дії ліпази, світла, розчинів кислот і лугів. Зміни молочного жиру поділяються на гідроліз (розщеплення на гліцерин і жирні кислоти), окиснення (приєднання кисню ненасиченими жирними кислотами), згіркнення з утворенням летких жирних кислот (масляна, капронова та ін.). Ці зміни впливають на смак і запах продуктів, особливо тих, що містять великий вміст жиру (вершкове масло, вершки тощо).

Цікавими з погляду змін є сири. Основними змінами у цих продуктах є розвиток мікроорганізмів і дія ферментів. На відміну від інших продуктів, у сирах слід не пригнітити ці процеси, а регулювати їх. Під впливом бактерій і продуктів їх життєдіяльності відбувається розпад білкових речовин, молочного цукру, молочного жиру. Продукти розпаду змінюють смак і аромат сиру, збільшують його гостроту.

Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає мета холодильного зберігання харчових продуктів?
2. Які параметри мають на увазі, говорячи про режим зберігання продукту? Які основні режими зберігання виділяють у холодильній технології? Як контролюється режим зберігання?
3. Що є рушійною силою усихання під час зберігання? У чому відмінність механізмів усихання під час охолодження та зберігання?
4. Як розрахувати усушку під час зберігання? Які фактори впливають на величину усушки? Як можна зменшити усушку?

5. Які зміни під час зберігання відбуваються зі складовими харчових продуктів – білками, жирами, вуглеводами?

6. У чому полягають особливості зберігання плодоовочевої продукції порівняно з продуктами рослинного походження? Що таке дихання плодів? Які фактори впливають на його інтенсивність?

7. Які зміни відбуваються у продуктах тваринного походження під час зберігання?

8. Що таке автоліз м'яса і чому він відбувається? Для чого необхідне визрівання м'яса? Як впливає електростимуляція м'яса на тривалість визрівання?

9. Чому молоко слід охолоджувати одразу після видоювання?

7. ОТЕПЛЕННЯ ТА РОЗМОРОЖУВАННЯ

Отеплення і розморожування – завершальні операції у безперервному холодильному ланцюзі, що здійснюють безпосередньо перед випуском харчових продуктів у роздрібну торгівлю, перед промисловим чи кулінарним обробленням. Мета цих операцій – приведення продукту в стан, зручний для подальшого використання і якомога ближчий до стану, властивого натуральному продукту високої якості. Оскільки, теплення – це процес, обернений до охолодження, а розморожування (дефростація) – процес, обернений до заморожування, слід досягти максимальної зворотності цих процесів.

7.1. Теплення охолоджених продуктів

Теплення охолоджених продуктів – це процес поступового підвищення температури продукту до температури навколишнього повітря з найповнішим збереженням його якості. Воно дає змогу запобігти відпотіванню продуктів (конденсація вологи з повітря на їх холодну поверхню) під час переходу з холодного середовища до теплого і відповідно обсіменіння їх мікрофлорою з повітря.

Деякі продукти не потребують теплення, бо волога, що конденсується на них під час підвищення температури, не завдає їм шкоди (солоні рибні товари, вершкове масло тощо). Не потребують теплення продукти в герметичній упаковці за умови їх швидкого вживання після виймання з неї. Але для таких продуктів, як плоди, банкові консерви, теплення необхідне.

Зазвичай теплення проводять у повітряному середовищі, регулюючи у ньому вміст водяної пари і за можливості забезпечуючи стерильність. Теплення продуктів, що здійснюється внаслідок теплообміну з нагрітим повітрям, слід проводити так, щоб уникнути досягнення температури точки роси на поверхні продукту. Водночас занадто сухе повітря спричиняє значне усихання продукту, що також небажано. Тому під час теплення вологовміст і швидкість руху повітря у міру підвищення температури поверхні продукту регулюють так, щоб забезпечити добрий теплообмін, уникнути перегрівання поверхні продукту і наблизити стан повітря при температурі поверхні продукту до стану насичення водяною парою. Теплення закінчують тоді, коли температура поверхні продукту стає такою, що при переміщенні продукту в нові умови виключається поверхнева конденсація вологи.

Проводять отоплення в камерах, обладнаних установками чи пристроями для кондиціонування повітря (рис. 10). Кондиціонери, що забезпечують потрібні параметри циркулюючого повітря, обладнані послідовно ввімкненими повітроохолодником 3 і калорифером 4. Повітря з камери 1, де розташовані ящики з продуктом 2 за допомогою вентилятора 3 подається до кондиціонера, де охолоджується і підсушується в повітроохолоднику 4 до потрібного вологовмісту, а потім воно переходить до калорифера 5, де підігрівається за сталого вологовмісту і після цього знову подається до камери отоплення. Там повітря віддає теплоту продукту, підвищуючи його температуру, охолоджуючись і дещо зволожуючись.

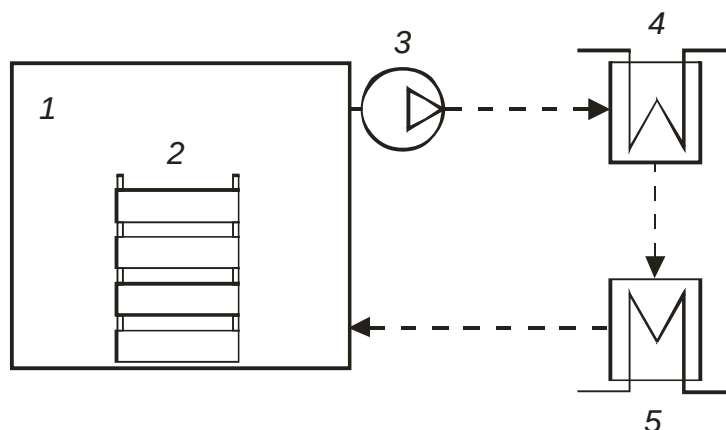


Рис. 10. Схема установки для отоплення фруктів: 1 – камера; 2 – штабель ящиків з фруктами; 3 – вентилятор; 4 – повітроохолодник; 5 – калорифер

Під час отоплення прискорюються фізичні, фізико-хімічні, біохімічні і мікробіологічні процеси. Для стримання розвитку мікроорганізмів застосовують фільтрування повітря, озонування, ультрафіолетове опромінення тощо.

Техніка отоплення різних продуктів в основному однакова. Продукти розміщують так, щоб забезпечити вільну циркуляцію повітря. Продукти в упаковці вкладають у штабель у шаховому порядку з прокладанням рейок між рядами; неупаковані продукти розміщують в тому самому порядку, що й під час їх зберігання, – на підвісних коліях і стелажах. Отоплення продуктів з різкими специфічними запахами разом з іншими продуктами неприпустиме.

Для отоплення продукту має бути підведена теплота, кількість якої дорівнює витраті холоду на охолодження того самого продукту, в тій самій кількості і в однаковому за величиною температурному інтервалі. Теплота, що підводиться до продукту під час отоплення в повітрі, витрачається не лише на нагрівання продукту, а й на випаровування вологи з його поверхні.

На практиці плоди під час отоплення переміщують із холодильної камери в коридори чи в іншу камеру, де температуру повітря поступово підвищують, і через 12–15 годин переносять у приміщення з температурою 18–20 °С.

Тривалість отоплення залежить від розмірів продукту, виду тари, упаковки, їх теплофізичних властивостей, температури і швидкості руху повітря, початкової і кінцевої температури продукту. Отоплення переохолоджених фруктів та овочів

триває від кількох діб до кількох тижнів. Лише такий режим дає змогу досягти максимальної зворотності процесу і забезпечити високу якість продукції.

7.2. Розморожування харчових продуктів

Розморожуванням називають технологічний процес перетворення води, що міститься в заморожених продуктах у вигляді льоду, у рідку фазу. Воно є завершальним технологічним процесом холодильного оброблення, впродовж якого температура замороженого продукту зростає. Процес розморожування за теплофізичною сутністю є оберненим до заморожування.

Розморожують майже всі заморожені продукти, крім тих, що можуть бути реалізовані у мороженому вигляді (м'ясо, риба, морозиво, напівфабрикати тощо). Перед надходженням до торговельної мережі продукти розморожувати не рекомендується, бо навіть за нетривалого зберігання в розмороженому стані може погіршитися їх товарний вигляд.

Дуже часто розмороження суміщають з іншими технологічними операціями. Якщо м'ясо після розморожування просолюватиметься (наприклад для вироблення шинки), то доцільно сумістити розморожування з просолюванням у розчині кухонної солі. Для прискорення процесу м'ясо шприцюють теплим розчином солі. Під час виготовлення хлібобулочних виробів із заморожених тістових заготовок розморожування часто проводять на піддонах у розстоювальній шафі, суміщаючи його з розстоюванням тістових заготовок. Розморожування дрібнофасованих швидкозаморожених продуктів, як правило, суміщають з кулінарним обробленням.

Закінчення процесу розморожування визначають за досягненням криоскопічної температури в тепловому центрі продукту. Кінцева температура розмороженого продукту залежить від його подальшого призначення (вживання, кулінарне оброблення, переробка тощо).

Тривалість розморожування розраховуюється за формулою Планка. Кількість теплоти, потрібна для повного розморожування продукту, визначається так само, як і кількість теплоти, необхідна для його заморожування (див. п. 5.6).

Слід враховувати, що під час заморожування і подальшого зберігання продукти під впливом різних процесів зазнають змін (часто незворотних). Тому вихідні властивості продуктів після розморожування повністю не відновлюються.

Розморожування відбувається повільніше, ніж заморожування за однакової різниці температур. Це пояснюється тим, що теплопровідність льоду в 4 рази більша, ніж води. Під час заморожування спочатку замерзають поверхневі шари, їх теплопровідність зростає, поліпшується теплообмін, що прискорює заморожування. Під час розморожування, навпаки, спочатку розморожуються поверхневі шари, що призводить до різкого зниження теплопровідності і відповідно сповільнення процесу. Це сповільнення в основному припадає на найкритичніший діапазон температур (поблизу точки плавлення льоду). Під час розморожування (особливо великих об'єктів) це пов'язано з перекристалізацією, що може спричинити додаткове пошкодження тканин.

На якість розмороженого продукту істотно впливають швидкість і кінцева температура заморожування: якість продуктів, заморожених швидко (при температурах -30°C і нижче), зберігається краще, ніж продуктів заморожених повільно. Для збереження високої якості швидко заморожений харчовий продукт слід так само швидко розморозити.

Вплив процесів заморожування і розморожування на якість розморожених продуктів пояснюють з позицій теорії кристалізації води. Швидкість заморожування є вирішальним фактором, що впливає на кількість, розміри і рівномірність розподілу кристалів льоду в тканинах. Від розмірів кристалів залежить міра збереження цілісності клітин і природної структури тканин. Якщо кристали льоду малі і їх розміщення приблизно відповідає природному розподілу рідини в м'язовій тканині, то колоїдні системи продуктів не зазнають значних змін і повніше відновлюються після розморожування.

Міра руйнування структурних елементів тканин залежить також від глибини автолітичних процесів у момент заморожування. Крім того, в процесі зберігання збільшуються кристали льоду, поглиблюються автолітичні процеси, відбувається явище "старіння" білкових колоїдних систем і мембран клітин.

Зміни колоїдної структури тканин, спричинені перерозподілом води і зростанням концентрації рідкої фази під час заморожування, відбиваються на величині вологоутримувальної здатності після розморожування. Вони тим більші, чим вища швидкість і нижча температура заморожування.

Якість розморожених плодів залежить від їх виду, сорту, умов зберігання, в деяких випадках способи заморожування менш важливі.

Зміни, що відбуваються в харчовому продукті на всіх етапах холодильного оброблення (охолодження, заморожування і зберігання), стають помітними лише в розмороженому вигляді і виявляються у витіканні клітинного соку. Кількість і склад соку, що витік, визначають характер змін, у продукті за час його холодильного оброблення. Для харчових продуктів з тканинною структурою (м'ясо, риба, птиця) величина втрат соку є найважливішим показником зворотності розморожування. Ці втрати розглядають як зовнішню ознаку денатурації білкових речовин. Основним компонентом соку є вода, що не поглинається продуктом під час розморожування або виділяється з продукту під впливом стиснення під час розморожування. Виділення соку з продуктів супроводжується значними втратами розчинних речовин – вітамінів, ферментів, мінеральних речовин, вуглеводів, білків саркоплазми та ін.

Основні причини утворення і рясного витікання клітинного соку під час заморожування-розморожування: денатурація білків внаслідок відділення води від білкової субстанції; зростання концентрації мінеральних речовин у розчинах, що містяться всередині і зовні волокон; механічний вплив кристалів льоду на стінки м'язових волокон і на міжволоконні прошарки зі сполучної тканини та ін.

Міра впливу зазначених факторів визначається швидкістю кристалоутворення і глибиною фазового перетворення води. Під час заморожування м'яса максимальна кількість води переходить у лід при температурі від -1 до -5°C . Через це інтенсивність теплообміну під час проходження температурної зони $-1...-5^{\circ}\text{C}$ під

час заморожування і $-5...-1$ °C під час розморожування має велике значення для отримання розмороженого продукту високої якості. Чим швидше пройдено цей температурний інтервал, тим менше витече соку з розмороженого м'яса під час його розбирання, тим краща буде його якість.

Втрати соку під час розморожування м'яса також залежать від його виду. Так, максимальні втрати соку відзначені в яловичині, нижчі – в телятині і баранині, мінімальні – в свинині. При цьому втрати соку м'ясом вищої якості під час розморожування, як правило, менші, ніж низькоякісним. Загалом кількість м'ясного соку становить близько 5 % загальної маси замороженого м'яса, у не повністю дозрілого м'яса може зрости до 40 %. Однофазне заморожування, що проводиться до початку посмертного задубіння, сповільнює розвиток глікогенолізу і явища стиснення під час розморожування, пов'язаного з підвищеним виділенням соку.

Втрати соку під час розморожування м'яса птиці залежать від фізіологічного стану м'язів, у момент заморожування вони максимальні на стадії задубіння і менш значні на інших стадіях. Вони також залежать від швидкості заморожування: за повільного заморожування в повітрі втрати соку значно вищі, ніж за швидкого.

Втрати соку під час розморожування риби мають ті самі закономірності, що і під час розморожування м'яса, але в цілому вони вищі, ніж у м'яса. Величина втрат залежить від виду риби, її жирності, розміщення м'язів у тушці, форми риби та ін.

Важливою для якості розмороженого продукту є швидкість розморожування. Щоб відновився вміст вологи в тканині, вода має спочатку пройти фазовий перехід, а потім проникнути і відновитися в тих білкових субстанціях і колоїдних системах, з яких вона дифундувала в міжклітинний і міжволоконний простір під час заморожування і зберігання за допомогою дифузійно-осмотичних сил. Здатність білкових субстанцій і колоїдних систем поглинати і зв'язувати цю вологу визначається їх біологічною активністю, що залежить від режимів холодильного оброблення продуктів, у тому числі розморожування.

У початковий період повільного розморожування на м'язову тканину впливають концентровані розчини солей, що спричиняє часткову денатурацію білків і руйнування колоїдних систем. Це сприяє, утворенню і витіканню соку після розморожування і під час подальшого оброблення. Крім того, під час повільного розморожування швидкозаморожених продуктів спочатку відбувається збільшення кристалів льоду, що супроводжується пошкодженням структури тканини і сприяє витіканню соку з продуктів. Під час швидкого розморожування вплив концентрованих розчинів коротший, тому спостерігається лише незначне виділення соку.

Інтенсифікація процесу шляхом підвищення різниці температур за рахунок застосування теплішого середовища може призвести до виникнення місцевих перегрівів поверхні, що негативно вплине на якість продукту. Під час підвищення температури може також відбутися мікробіальне псування поверхневих шарів продукту до розморожування внутрішніх шарів.

Інтенсивність якісних змін у розморожених продуктах зумовлена насамперед динамікою мікробіологічних і ферментативних процесів. Залежно від багатьох взаємопов'язаних факторів активність останніх може як зростати, так і

зменшуватися. В продуктах тваринного походження вплив тканинних ферментів виявляється в основному у прискоренні гідролітичного розкладу білків, внаслідок якого створюються сприятливі умови для розвитку гнильної мікрофлори.

Мікробіологічні процеси у швидкозамороженому м'ясі після розморожування йдуть майже з такою самою швидкістю, що і у охолодженому м'ясі за подібних умов зберігання, бо конденсація водяної пари під час розморожування сприяє прискореному розвитку мікроорганізмів. В повільно замороженому м'ясі ці процеси додатково прискорюються більшою ферментативною активністю такого м'яса.

Збережуваність плодів та овочів після розморожування менша, ніж продуктів тваринного походження, бо вони менш стійкі до мікробіологічних і біохімічних змін. Розморожені плоди швидко псуються, погіршується їх товарний вигляд тому до роздрібної торгівлі вони не надходять, а мають бути максимально швидко використані чи перероблені.

На відміну від отеплення, що проводять виключно в повітрі з контрольованими параметрами, розморожування можливе у різних середовищах і з використанням різних джерел теплоти. Підприємства харчової промисловості тепер застосовують декілька способів розморожування, за яких теплоносіями є повітря, пароповітряна суміш, вода і розсіл. Відомі також способи розморожування за допомогою ультразвуку, інфрачервоних променів, електричного струму високої, надвисокої і промислової частоти і під вакуумом.

Існуючі способи розморожування можна розподілити на три основні групи:

1 – способи, що ґрунтуються на використанні теплоносія з різними теплофізичними властивостями, за яких завжди є *температурний градієнт*: відтанення у водяній парі зі зниженням температури шляхом зниження тиску (є небезпека підварювання), конвективне нагрівання пароповітряною сумішшю (слід уникати конденсації води на поверхні продукту), у рідині, у середовищі насиченої пари, розморожування у потоці повітря (2–3 м/с, температура 0–5 °С, як правило 1–1,5 °С);

2 – нагрівання відбувається шляхом перетворення енергії різних видів (електричного поля різної частоти, ультразвукових коливань) на теплову безпосередньо у продукті. За використання енергії змінного електричного поля нагрівання продукції за певних умов може здійснюватися рівномірно по всьому об'єму (*безградієнтне нагрівання*). При відтаненні у високочастотному конденсаторному полі (27 МГц) рівномірно прогріваються безкісткові шматки завтовшки 80–200 мм;

3 – *комбіновані способи*, що одночасно використовують конвективне і безградієнтне нагрівання. У цих способах розморожування може використовуватися повітряне, мікрохвильове, вакуумне, електроконтактне та інше нагрівання.

Удосконалення техніки розморожування пов'язане зі зміною методів оброблення, потребою подальшої інтенсифікації процесу, створенням конструкцій агрегатів безперервної дії. При цьому найважливішою умовою має бути максимальне збереження вихідної якості продукту.

Під час розморожування харчових продуктів, заморожених у блоках, для промислового перероблення за загальноприйнятою прискореною технологією нагрівання здійснюється за рахунок теплової конвекції повітря чи підігрівання

водою. У цьому разі можливі забруднення і псування продуктів.

Аналіз різних способів розморожування показує, що з використанням будь-якого теплоносія (повітря, вода) прискорення процесу обмежене. Слід, з одного боку, якомога швидше провести процес, а з іншого – забезпечити високу якість розмороженого продукту, тобто температура розмороженої частини не повинна перевищувати встановлених значень. Ці дві вимоги суперечать одна одній, адже чим нижча температура розмороженої поверхні, тим повільніше проходитиме процес розморожування. Тому для максимального прискорення процесу розморожування температуру на поверхні продукту бажано підтримувати на сталому максимально можливому рівні. Проте при сталій температурі нагрівального середовища (повітря, пари, пароповітряної суміші, води) досягти цього неможливо, бо температура поверхні постійно зростатиме. Це змушує використовувати складну систему автоматичного регулювання температури нагрівального середовища.

Запропоновано спосіб двостадійного розморожування. На першій стадії продукт зрошується водою фіксованої температури, а на другій – обдувається повітрям теж фіксованої, але іншої температури. З одного боку така система дає змогу добором температури середовищ і тривалості стадій прискорити процес, а з іншого – виключити окремі стадії миття та обсушування продукту (вони суміщені з розморожуванням). На жаль, цей метод не виключає можливості обсіменіння продукту мікроорганізмами.

Найефективнішим з погляду швидкості розморожування та збереження якості продукції є діелектричне розморожування. Його принцип полягає у впливі на діелектричні матеріали (зокрема харчові продукти) електромагнітним полем надвисокої частоти (НВЧ). Завдяки проникненню НВЧ-хвилі всередину продукту відбувається об'ємне тепловиділення, за рахунок чого досягається значне прискорення нагрівання та його рівномірність у об'ємі матеріалу. Під час розморожування у НВЧ-камерах проникнення теплоти в товщу продукту залежить від температури та частоти хвиль. Хоча різниця не настільки велика, але прагнуть використовувати нижчі частоти (стандартні частоти хвиль 896–915 МГц), особливо для шматків завтовшки понад 5 см. Аналіз досвіду закордонних фірм з використання НВЧ-енергії для розморожування блоків м'яса та інших харчових продуктів довів переваги цього способу перед іншими: економія виробничих площ; висока швидкість розморожування; точне регулювання кінцевої температури всередині продукту; простота обслуговування установки; зменшення затрат праці завдяки розморожуванню харчових продуктів в упаковці.

Оцінювання якості і санітарного стану готової продукції показало, що діелектричне розморожування дає змогу зменшити втрати білкових речовин і вітамінів, запобігти розвитку мікрофлори, поліпшити ніжність м'яса, що особливо важливо у разі вироблення з розмороженої сировини варених ковбасних виробів. Відзначено також зростання тривалості зберігання і терміну реалізації харчових продуктів із сировини, розмороженої за допомогою НВЧ-енергії. Проте слід зазначити, що існує небезпека підварювання поверхневих шарів продукту через високу температуру на його поверхні. До того ж, спосіб діелектричного

розморожування потребує значної кількості електроенергії.

Встановлено, що діелектричне розморожування є оптимальним для багатьох плодів і ягід. Тривалість розморожування у цьому разі становить 1–3 хвилини. Оцінювання якості плодів і ягід, розморожених різними способами, показало, що діелектрично розморожена продукція мала вищий вміст непошкоджених плодів, кращу консистенцію, менші втрати вітаміну С. Найгіршим способом виявився повітряний, що спричинив значні втрати товарного вигляду та якості продукції.

Остаточний вибір способу розморожування і пристроїв для його здійснення визначається потужністю підприємства, його фінансовими можливостями, видом і призначенням оброблюваного продукту.

Запитання для самоперевірки

1. Для чого та у який спосіб здійснюють тепління харчових продуктів?
2. Для чого здійснюють розморожування харчових продуктів? Які зміни відбуваються у продуктах під час розморожування?
3. Чому під час розморожування відбувається витікання клітинного соку? Чим шкідливий цей процес?
4. Який процес за однакової різниці температур відбувається швидше: заморожування чи розморожування і чому?
5. Які способи розморожування використовуються у промисловості? У чому полягають переваги та недоліки кожного зі способів?

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКА ХОЛОДИЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

8. ХОЛОДИЛЬНИЙ ЛАНЦЮГ ТА ЙОГО ЛАНКИ

8.1. Поняття холодильного ланцюга

Найефективніше використання холодильного консервування передбачає створення безперервного холодильного ланцюга протягом усього шляху продукту – від виробництва до споживача. Поняття «холодильний ланцюг» ввів інженер Альберт Беррієр у 1908 р. Холодильний ланцюг сформувався в більшості індустриально розвинутих країн у 40-50-х роках ХХ сторіччя. Проте навіть у цих країнах донині він потребує вдосконалення.

Штучний холод у безперервному холодильному ланцюзі (БХЛ) застосовується для зберігання сировини, під час вироблення харчових продуктів, для зберігання продукції на підприємстві-виробнику, для місцевих і далеких перевезень продуктів, для зберігання продуктів, у роздрібній торговельній мережі та побуті.

Окремими ланками БХЛ є холодильники, які класифікують за призначенням: *заготівельні* (виробничі); *транспортно-експедиційні* (перевантажувальні), у тому числі *портові*; *розподільні* (оптово-роздрібні бази); *холодильники системи державних резервів*; *реалізаційні* (холодильники магазинів, супермаркетів, ресторанів, кафе тощо); *домашні* (побутові) холодильники та морозильники.

Зв'язок між цими ланками холодильного ланцюга забезпечує *рефрижераторний транспорт*: автомобільний, залізничний, водний (морський і річковий), повітряний і рефрижераторні контейнери.

Схеми БХЛ різні і залежать не лише від вихідної сировини та виду кінцевого продукту, а й від сезонності заготівлі та виробництва тощо. Комбінація частин цього ланцюга, може значно різнитися не лише для кожного виду продукту, а й для кожної його партії. На рис. 11 показано приклади схем БХЛ для деяких видів харчових продуктів. Для ефективного функціонування будь-яких можливих варіантів безперервного холодильного ланцюга слід забезпечити такі умови: *єдність режимів* холодильної обробки, зберігання і перевезень швидкопсувних продуктів; *відповідність холодильної місткості* стаціонарних холодильників і транспортних засобів (з урахуванням кратності їх використання протягом року); *виключення далеких і зустрічних перевезень*; *раціональне розміщення* холодильних підприємств на території регіону і країни в цілому; *дотримання термінів* перебування продуктів у безперервному холодильному ланцюзі, що повинні бути менші граничних термінів зберігання продуктів; *оптимізація* витрат і швидкості доставки швидкопсувних продуктів від місця виробництва до місця споживання та ін.

При цьому важливо, щоб холод, як консервувальний засіб, використовувався для зберігання продукту *безперервно* від моменту його заготівлі до споживання. Будь-яке, навіть короточасне, підвищення температури продукту призведе до зниження його якості. Подальше зниження температури може тільки замаскувати ефект негативних змін якості, але не може знищити цей ефект цілком або частково.

Аналізувати БХЛ слід у декількох аспектах: *технологічному* (пов'язаний з технологією холодильного оброблення, зберігання і перевезення продуктів);

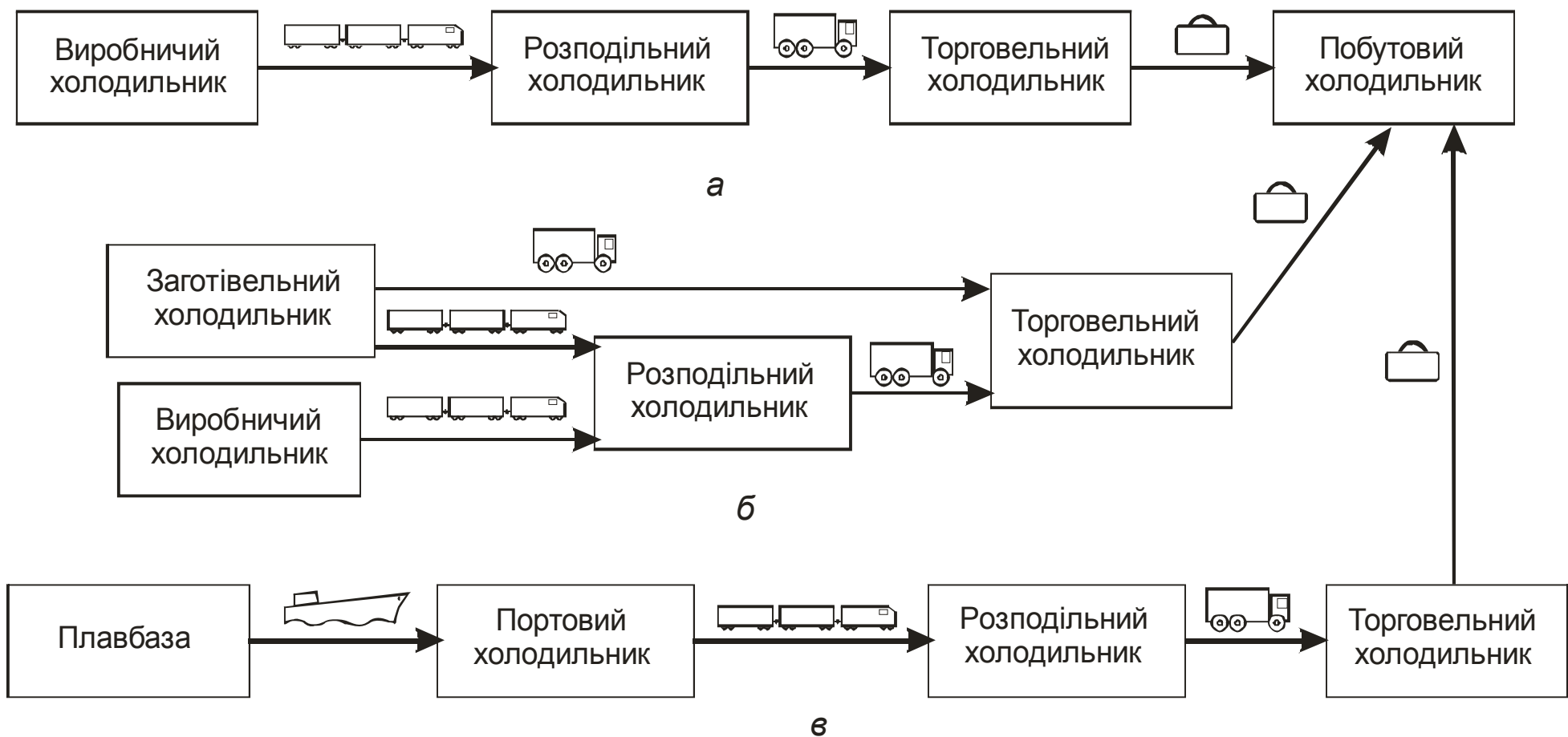


Рис. 11. Схеми безперервного холодильного ланцюга:

a – для м'яса охолодженого і замороженого, м'ясопродуктів, масла, сирів, консервів; *б* – для плодовоовочевої продукції та яєць;
в – для охолодженої і замороженої риби і морепродуктів (портового холодильника може не бути, якщо йде перевантаження за схемою “судно – вагон”)

експлуатаційному (зумовлений необхідністю розміщення і технічного оснащення достатньої кількості холодильників різного призначення, транспортних засобів і допоміжних підприємств); *економічному* (ефективність функціонування окремих об'єктів різних форм власності й безперервного холодильного ланцюга в цілому, розподіл інвестицій для досягнення максимального прибутку); *екологічному* (з одного боку, зростання кількості холодильників вимагає відведення більших земельних площ, тягне за собою зростання шкідливих викидів і стоків, проте з іншого – зменшуються втрати швидкопсувних продуктів, відпадає необхідність у розширенні посівних площ, збільшенні виробництва і застосування мінеральних добрив, потужностей з випуску сільськогосподарської техніки, скорочується витрата пального, спалювання якого забруднює довкілля); *енергетичному* (мінімальна витрата енергії на його роботу, зниження витрат енергії на вироблення холоду, використання енергозбережних технологій).

8.2. Приймання продуктів

Продукти, що надходять на холодильник, приймають згідно з вимогами чинних інструкцій, положень, стандартів, технічних умов та інших нормативних документів. Слід приділяти велику увагу прийманню, адже прийнявши на холодильник продукцію низької якості можна втратити не лише її, а і якісну продукцію, розміщену з нею в одній камері (наприклад через перехресне бактеріальне обсіменіння). За можливі втрати після приймання продукції будуть притягнуті до відповідальності працівники холодильника.

Супровідні документи (вагонні та контрольні температурні листи, санітарні та ветеринарні свідоцтва, сертифікати якості та відповідності, специфікації та накладні постачальників) перевіряють до розвантаження холодильного транспорту. У разі відсутності одного чи кількох документів роблять відповідний запис у приймальному документі. Перед початком розвантаження ретельно перевіряють стан пломб, люків, а потім розпочинають приймання за кількістю та якістю.

Якість продуктів на холодильнику оцінюють товарознавці. До їх основних обов'язків входять: приймання за кількістю та якістю продуктів, що надходять на холодильник; контроль за правильністю їх розміщення в камерах і дотриманням термінів зберігання; контроль за якістю продуктів, що зберігаються; організація відпуску продукції з холодильника.

Тару та упаковку перевіряють на відповідність вимогам стандартів і санітарних норм. Усі продукти у несправній тарі відсортовують. Вантажі, що надійшли з різноманітними дефектами, розміщують у спеціальній камері для короткострокового зберігання (камера дефектних вантажів).

Особливу увагу під час приймання приділяють дотриманню температурного режиму під час транспортування (за даними реєстрації температури, температурним індикаторам на вантажі тощо); температурі повітря у транспортному засобі перед вивантаженням продуктів; температурі продуктів (особливо продуктів тваринного походження). Під час вивантаження м'яса з транспортних засобів у кожній партії вимірюють температуру м'яса у товщі м'язів стегна чи лопатки на глибині 6–8 см від поверхні скляним термометром у металевій оправі, який занурюють у продукт на

10 хв, чи переносним напівпровідниковим вимірювачем температури, призначеним для швидкого вимірювання температури як на поверхні, так і у товщі продукту. Для вимірювань відбирають середню пробу з середнього та верхнього рядів штабеля: м'яса та м'ясопродуктів у блоках – не менше як із 4 місць, інших продуктів – не менше як із 2 місць (одиниць упаковки). У разі надходження повністю розморожених продуктів кількість місць вимірювань слід збільшити до 10, причому проби відбирають у нижньому, середньому та верхньому рядах штабеля. У приймальних документах зазначають середню температуру партії продуктів, що надійшла.

Будь-які продукти (5–10 % усієї партії) ретельно оглядають і за результатами перевірки, визначають їх подальше спрямування. Прийняті продукти негайно передають на холодильне оброблення чи зберігання.

Залежно від виду контролю продукти, що надходять на холодильник, ділять на дві групи: перша – продукти, що підлягають товарознавчому, технологічному та ветеринарно-санітарному контролю (м'ясо та м'ясопродукти, птиця, яйця, меланж, яєчний порошок, жир-сирець, шпик, топлений тваринний жир, консерви м'ясні та м'ясо-рослинні); друга – лише товарознавчому та технологічному контролю (масло, маргарин, кисломолочні продукти, сир, згущене молоко, риба та рибні продукти).

Якість продуктів першої групи оцінюють перед надходженням до камер, під час холодильного оброблення та після нього. Під час зберігання цих продуктів слід правильно розміщати продукти на зберігання, ретельно підтримувати температурно-вологісний режим та визначати тривалість. Огляд морожених продуктів першої групи з метою визначення умов їх зберігання та стану якості проводять щомісяця, охолоджених – щодоби. Результати огляду оформлюють відповідними актами.

Якість продуктів другої групи оцінюють під час приймання, холодильного оброблення та зберігання. Результати аналізів якості продуктів та умов зберігання реєструють у журналі чи за допомогою комп'ютера.

Ветеринарно-санітарну експертизу продуктів тваринного походження здійснює ветеринарна служба холодильника. Її працівники мають право не допускати на зберігання недоброякісні продукти, вимагати термінової реалізації продуктів, термін зберігання яких закінчився, забороняти завантаження харчових продуктів на транспорт, що не відповідає санітарним вимогам.

Санітарний стан виробничих і складських приміщень, територій, обладнання та інвентарю на холодильниках контролюють органи Державної санітарно-епідеміологічної служби, відомчих санітарної та ветеринарної служб. Контроль здійснюють під час приймання продуктів, в процесі їх оброблення, під час зберігання та відпуску з холодильника. Санітарний контроль на холодильнику здійснює відомча санітарна служба. Санітарний лікар має право не приймати на зберігання недоброякісну сировину, заборонити відпуск із холодильника непридатних для вживання продуктів. Приписи санітарного лікаря з питань санітарно-гігієнічного режиму обов'язкові для працівників холодильника.

8.3. Підготовка камер до приймання продуктів

Перед завантаженням камери інвентар, тару та транспортні засоби миють, чистять, за потреби дезінфікують для знищення мікроорганізмів, які є основною

причиною псування продуктів. Для цього також фільтрують повітря, що подається до камери під час вентиляції, періодично очищують та дезінфікують повітроохолодники. Потреба у дезінфекції встановлюється на підставі контролю мікробного обсіменіння. Для своєчасного виявлення бактеріального забруднення, а також для перевірки ефективності дезінфекції здійснюють мікробіологічний контроль у холодильних камерах: для камер з температурою повітря $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче – один раз на квартал, а для камер з температурою вище $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ – двічі на квартал.

Перед дезінфекцією камеру повністю вивільняють від продуктів і отоплюють до температури не нижче як $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, але так, щоб при цьому не конденсувалася волога на стінах і стелі. Після отоплення камеру промивають, вапнують та дезінфікують.

Ефективними засобами для дезінфекції холодильних камер є антисептол (2,5 частини хлорного вапна зі вмістом 25 % активного хлору та 3,5 частини вуглекислої соди на 100 частин води) та оксидифенолят натрію (препарат Ф-5), який використовують при температурі в камері вище $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (особливо згубно впливає на плісняви). Стан стін і стелі камери після дезінфекції та вапнування вважається добрим за вмісту до 100 мікробних зародків на 1 см^2 , задовільним – до тисячі і поганим – понад тисячу.

У боротьбі з мікроорганізмами використовують озонування та ультрафіолетове опромінення. Озонування камери протягом 72 год за концентрації озону в повітрі $15\text{--}25\text{ мг/м}^3$, при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і за відносної вологості 90 % забезпечує повне очищення камери від мікроорганізмів. Такий самий ефект досягається у разі застосування ультрафіолетового опромінення (3 год/добу потужністю 1 Вт/м^2 приміщення). Озонування та ультрафіолетове опромінення об'єднує метод Synergolux, що використовується за кордоном для дезінфекції, дезінсекції (знищення шкідливих комах), стерилізації та консервування.

8.4. Розміщення продуктів у камерах

Продукти надходять на холодильне зберігання у охолоджену, заморожену та підморожену станах з середньою кінцевою температурою, що дорівнює температурі зберігання. Продукти, що надійшли з вищою температурою, відправляють на доохолодження та доморожування.

Технологічні інструкції дозволяють завантажувати в камери зберігання також отоплені продукти, але при цьому добове надходження вантажу обмежується: в камери вантажною місткістю до 200 т – 8 %, понад 200 т – 6 % місткості.

Залежно від виду продукту охолоджувані приміщення поділяють на камери зберігання м'яса, масла, яєць, жиру, субпродуктів, ковбас тощо. Сумісне зберігання різних продуктів в одній камері можливе лише у разі крайньої необхідності (наприклад, під загрозою псування прийнятих продуктів, що перебувають поза холодильними камерами). При цьому можна зберігати в одній камері лише продукти, для яких потрібен однаковий температурно-вологісний режим. Для сумісного зберігання неупакованих морожених продуктів слід використовувати камери з температурою повітря не вище як $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. При вищій температурі леткі ароматичні речовини, властиві продуктам, інтенсивніше випаровуються і легше передаються від одного продукту до іншого. Продукти з вищою температурою

перед закладанням на сумісне зберігання підлягають доморожуванню в камерах заморожування. Доморожування у камерах сумісного зберігання не допускається. Не дозволяється сумісне зберігання з іншими продуктами ковбасних виробів і м'ясокопченостей, сирів усіх видів, фруктів та овочів (свіжих і заморожених), дріжджів хлібопекарських.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке безперервний холодильний ланцюг?
2. Чому важливо забезпечити безперервність дії холоду на продукти?
3. Які умови слід забезпечити для ефективної діяльності безперервного холодильного ланцюга?
4. Які документи слід перевірити під час приймання на холодильник харчових продуктів?
5. Як перевіряються продукти за кількістю та якістю?
6. Для чого призначена камера дефектних вантажів?
7. Як готують холодильні камери до розміщення продуктів?
8. За якими принципами розміщують продукти у камерах холодильника?

9. ХОЛОДИЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ М'ЯСА, М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ, ПТИЦІ ТА ЯЄЦЬ

9.1. Стислий опис технології

М'ясо та субпродукти водночас є і продукцією і напівфабрикатом для вироблення інших продуктів. *М'ясо* – це частина туші м'ясної худоби з м'язами, кістками, зв'язками. *Субпродукти* – продукти та напівфабрикати, що утворюються у процесі розбирання туші (крім м'яса). Їх поділяють на дві категорії: перша – серце, печінка, діафрагма з селезінкою, язик, нирки, друга – голова, легені, шлунок, вим'я, вуха, хвіст, кишки, кров, шкіра, роги, копита та ін.

М'ясну худобу на забійній дільниці *оглушують* електричним струмом, підвішують на гак і *знекровлюють*. Кров збирають для подальшої переробки. Після зняття шкіри та відокремлення голови з туші вилачують внутрішні органи. Потім тушу *розпилюють* на напівтуші чи четвертини, промивають (*туалет туші*) і здійснюють *ветеринарно-санітарний контроль*. Напівтуші одразу подають на *охолодження* чи *заморожування* для подальшого холодильного зберігання чи відпускання споживачам. Щоб отримати жиловане м'ясо та субпродукти тушу *розбирають* (розділяють на м'ясо різних категорій та субпродукти), проводять *обвалування* (відокремлення м'яса від кісток) та *жилування* (відділення від м'яса сухожилів, великих плівок з'єднувальної тканини, хрящів, жиру, дрібних кісточок). Отримане м'ясо та субпродукти 1-ї і 2-ї категорій надходять на подальшу переробку. За потреби м'ясо та субпродукти подають на холодильне зберігання. Для нетривалого зберігання їх достатньо охолодити, а для тривалого зберігання та транспортування – заморозити.

У разі вироблення продукції із замороженого м'яса попередньо проводять його розморожування (*дефростацію*) у камерах з повітряними калориферами, при температурі 15–20 °C за швидкості руху повітря 0,2–0,5 м/с (прискорене) чи 1–2 м/с

(швидко). Також застосовують розсільну дефростацію, мікрохвильове опромінення.

Ковбасні вироби. Підготовчі операції однакові для всіх видів ковбас. Підібране за рецептурою м'ясо у шматках попередньо солять, після чого подрібнюють на вовчку з діаметром отворів решітки 2–3 мм, а потім тонко подрібнюють у кутері. До м'яса додають гідратовані білкові добавки, спеції. Для швидкого охолодження до фаршу додають лускоподібний лід. Тривалість кутерування залежить від складу фаршу та конструкції кутера. Для охолодження і створення інертного середовища ковбасного фаршу і парного м'яса під час кутерування інколи застосовують скраплений азот. Його питома витрата залежить від якості і температури оброблюваної сировини і доквілля і становить 0,15–0,35 кг на 1 кг ковбасного фаршу.

Під час виготовлення ковбас з неоднорідною структурою фарш після кутера перемішують з окремо подрібненим шпиком, язиком тощо. Якщо треба отримати шматки шпику правильної форми (наприклад для ковбаси “Любительська”), то шпик перед подрібненням у окремих вовчках підморожують. Для ковбас з однорідною структурою фарш з кутера одразу подають на шприцювання підготованих оболонок. Ковбасні оболонки (з натуральних кишок або виготовлені штучно) наповнюють фаршем за допомогою шприців різної конструкції. Кінці оболонок зав'язують чи кліпсують, отримуючи ковбасні батони. Подальше оброблення залежить від виду ковбас.

Варені ковбаси осаджують у холодильних камерах при температурі 8 °C протягом 2–4 год. Деякі сорти ковбас після осадження підсушують у димоповітряній суміші чи повітрі при температурі 100 °C за відносної вологості близько 10 % та швидкості руху середовища 2 м/с протягом 3–30 хв (залежно від діаметра ковбасного батона). Осаджені ковбаси обсмажують у камері при температурі 60–110 °C за відносної вологості 10–20 %. Тривалість обсмажування залежить від діаметра ковбасного батона і становить від 15 (для сосисок) до 150 хв (для ковбас), після чого температура в центрі ковбасного батона становить 40–45 °C. Обсмажені ковбаси варять у пароповітряній суміші з відотною вологістю близько 90 %. Температура середовища під час варіння становить 75 °C, а до кінця процесу підвищується до 85 °C. Варіння закінчують, коли температура в центрі батона сягне 68–70 °C.

Зварені ковбаси охолоджують. Найчастіше застосовують двостадійне охолодження: спочатку зрошення холодною водою (10–15 °C) протягом 5–15 хв, до температури в центрі батона 27–30 °C, а потім у холодильних камерах з рухомим повітрям при температурі 8 °C до температури в центрі батона 10–15 °C. Готові ковбаси з температурою в центрі батона 0–15 °C відпускають у реалізацію.

Напівкопчені ковбаси завдяки великому вмісту жиру та низькому вмісту вологи є високопоживними продуктами, досить стійкими під час транспортування та зберігання. Технологія напівкопчених ковбас відрізняється від технології варених. Після шприцювання ковбаси подають на осадження протягом 2–4 год при температурі не вище 8 °C, потім на обсмажування протягом 60–90 хв при 80–100 °C, а далі варять протягом 40–60 хв при 75–85 °C до досягнення температури в центрі батона 68–72 °C. Зварену ковбасу охолоджують при температурі не вище як 20 °C і подають на копчення.

Копчення здійснюють димом або з використанням спеціальних коптильних препаратів. Вологість готових ковбас становить 35–52 %. Після копчення ковбасу охолоджують у камерах і з температурою в центрі батона 0–15 °С відпускають у реалізацію. Технологія *варено-копчених ковбас* відрізняється від технології напівкопчених наявністю первинного копчення перед варінням.

Сирокопчені ковбаси належать до вищого сорту. Ковбасні батони осаджують протягом 5–7 діб при температурі 2–4 °С за відносної вологості повітря 85–90 %, а потім коптять у камерах димом тирси твердих листяних порід протягом 2–3 діб при температурі у камері 18–22 °С. Після копчення ковбасні батони сушать протягом 25–30 діб при температурі 12–14 °С за відносної вологості повітря 75 % до досягнення вологовмісту 30–35 %. *Сиров'ялені ковбаси* не коптять, а одразу подають на підсушування до холодильних камер. Готові ковбаси з температурою в центрі батона не вище як 15 °С відпускають у реалізацію.

Сировина для вироблення *ліверних ковбас* – м'ясо, субпродукти, крохмаль, борошно, жир, спеції. При цьому м'ясу сировину попередньо варять у воді. Бульйон, утворений при цьому, упарюють і додають у кутер під час приготування фаршу. Ліверні ковбаси варять у воді чи пароповітряною сумішшю (80–85 °С) протягом 40–60 хв залежно від діаметра батона, до досягнення температури в центрі батона 72 °С, а потім охолоджують (спочатку зрошенням водою, а потім у холодильних камерах) до температури у центрі не вище як 8 °С.

За подібною технологією виробляються і *кров'яні ковбаси*. До їх рецептури входить 35–90 % крові. Сиру кров підсолюють, а потім варять окремо при 95–100 °С протягом 40–60 хв. Після цього кров охолоджують до 8–10 °С та подають для приготування фаршу у кутер.

Для вироблення копченостей з туші виділяють певні частини (бекон, вирізка, балик тощо) та просолюють з додаванням спецій. Найчастіше просолювання здійснюють шприцюванням розчину солі з подальшим масажуванням на масажерах для рівномірного розподілу розчину по шматку м'яса та створення ніжної його структури. У деяких випадках додатково на поверхню виробів наносять шар спецій. Режими термічного оброблення копченостей такі самі, що і для копчених ковбас.

9.2. Охолодження м'яса та м'ясопродуктів

Найпоширенішим методом охолодження м'яса є повітряний. Також використовують інші, порівняно нові методи: охолодження повітрям чи іншим газом за підвищеного тиску (внаслідок цього зменшується усушка), гідроаерозольне охолодження, охолодження в середовищі вуглекислого газу, охолодження парою кріогенних рідин, вакуумне охолодження, охолодження в РГС, охолодження з використанням електрофізичних методів, глибоке охолодження продуктів, упакованих в середовищі інертних газів.

М'ясні туші та напівтуші охолоджують у камерах і тунелях, обладнаних підвісними коліями і системою регулювання режиму холодильного оброблення. У камері охолодження яловичі й свинячі напівтуші підвішують на гаках підвісних колій, а баранячі туші – на рамах. Відстань між тушами має становити не менше як 5 см. У камеру охолодження завантажують м'ясо одного виду, однієї категорії

вгодованості і за можливості однакової маси, завдяки чому вся партія одночасно охолоджується до кінцевої температури. Середнє навантаження на 1 м підвісної колії становить близько 250 кг. В процесі охолодження відносна вологість повітря встановлюється на рівні 85–92 % за рахунок випаровування вологи з продукту.

Охолодження м'яса в повітрі проводять різними способами.

Одностадійне охолодження проводять при температурі 0 °С і швидкості руху повітря 0,5–2 м/с до температури 0–4 °С в товщі м'язів стегна на глибині не менше 6 см від поверхні. Температура і швидкість руху повітря – основні параметри, що впливають на коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до охолодного середовища, а отже, на тривалість охолодження. Для яловичих напівтуш температура повітря може бути знижена до –2, а для свинячих – до –5 °С. Тривалість охолодження при цьому становить 14–24 год. Існуюча тенденція зниження температури охолодного повітря нижче кріоскопічної і підвищення швидкості його руху до 2 м/с пояснюється бажанням інтенсифікувати процес охолодження. При цьому додаткові енерговитрати порівняно з традиційним способом виправдані, бо тривалість процесу зменшується на 30–40 %, знижується усихання, зростає якість м'яса й м'ясопродуктів і збільшується обіг камер охолодження.

За подальшого зниження температури охолодного середовища можливе підморожування м'яса, тому застосовують *дво- і тристадійне охолодження* за змінних параметрів повітряного середовища. Багатостадійне охолодження напівтуш може здійснюватися в одній чи різних камерах. Так, свинячі напівтуші на першій стадії охолоджують при температурі –10...–12 °С упродовж 1,5 год, на другій стадії – при температурі –5...–7 °С упродовж 2 год і при доохолодженні (з метою рівномірного розподілу температури по товщині напівтуш) – при температурі близько 0 °С упродовж 6–8 год. На першій і другій стадіях швидкість руху повітря 1–2 м/с, а під час доохолодження – 0,5 м/с за його відносної вологості 95–98 %.

У разі *програмного охолодження* м'ясо спочатку охолоджують при температурі –4...–5 °С і швидкості руху повітря 4–5 м/с, а потім при температурі 0 °С і швидкості руху повітря, що змінюється за програмою, від 4–5 до 0,5 м/с.

Інтенсифікований спосіб охолодження яловичини передбачає використання на першій стадії повітря з температурою до –25 °С, що рухається зі швидкістю 5–10 м/с. Після досягнення на поверхні напівтуш кріоскопічної температури починається друга стадія охолодження, протягом якої температура повітря підтримується на рівні кріоскопічної, а швидкість його не перевищує 0,5 м/с. За фронтального способу охолодження напівтуш, коли вони рухаються на конвеєрі назустріч потоку охолодженого повітря, холодильне оброблення ведеться за змінного впродовж процесу коефіцієнта тепловіддачі. Це дає змогу зменшити тривалість холодильного оброблення на 10 % порівняно з процесом, проведеним за сталого значення коефіцієнта тепловіддачі, а всихання при цьому знижується ще на 30–40 %. Швидкість повітря в камерах змінюють добором певних перерізів повітророзподільників. Напівтуші переміщують на конвеєрі по камері, розміри якої розраховують виходячи з того, що за час проходження камери попереднього охолодження температура поверхні напівтуш не повинна бути нижче кріоскопічної, а в камері доохолодження має досягати заданого кінцевого значення. Уникнути холодового

скорочення м'язів (температурного шоку) можна шляхом електростимуляції чи витримування м'яса в період попереднього охолодження при температурі повітря 10–12 °C впродовж 12–15 годин.

Гідроаерозольне охолодження – охолодження м'яса чи ковбас в інтенсивно циркулюючому повітряному середовищі, насиченому до 100 %-ї відносної вологості з дрібними краплями води. Для запобігання псуванню м'яса у воду додають бактерицидні речовини. Процес інтенсифікується за рахунок випарювального охолодження з поверхні м'яса, тому за витратою енергії є вдвічі економічнішим ніж традиційне повітряне охолодження. Модифікацією цього способу є застосовуваний за кордоном метод охолодження м'яса та м'ясопродуктів у крапельному середовищі пропіленгліколю. При цьому продукти охолоджуються розчином пропіленгліколю з температурою –8...–15 °C до досягнення потрібної температури в товщі продукту; ефективність цього процесу в 2–3 рази вища, ніж повітряного охолодження.

Гідрофлюїдизаційне охолодження з використанням льодоводяних суспензій дає змогу отримати високий коефіцієнт теплопередачі, що істотно збільшує швидкість охолодження.

З метою скорочення всихання м'яса під час охолодження з подальшим заморожуванням розроблено *спосіб комплексного термовологого оброблення м'яса* після забиття. Для цього напівтуші спочатку охолоджують у камері, перенасиченій вологою, при температурі –1 °C, а потім швидко (за 5–10 хв) обдувають сухим гарячим повітрям (температура 50–70 °C, відносна вологість 5–10 %). У холодному відсіку камери завдяки інтенсифікації тепловіддачі від продукту до перенасиченого повітря час охолодження скорочується до 9 год, а сумарне усихання – до 0,5–0,6 %.

Вакуумне охолодження раніше застосовували лише для оброблення рослинної сировини, а зараз у ряді країн його застосовують для охолодження туш і напівтуш великої та малої рогатої худоби, свиней, шматкового м'яса. Відруби надходять на вакуум-пакувальну лінію, де здійснюється вакуумне охолодження при температурі 0–2 °C і пакування у плівку. Залежно від розмірів відрубів через 4–9 год температура в товщі продукту знижується до 7, а через 14 год – до 2 °C. За такого способу охолодження значно поліпшується санітарний стан м'яса, збільшується до 15 діб термін його зберігання, знижується усихання.

Варені ковбаси, як правило, охолоджують двома стадіями: першу проводять тонко розпиленою водою з використанням випарювального ефекту охолодження, другу – у рухомому повітряному потоці, що має температуру 0–8 °C і швидкість руху до 4 м/с. Тривалість охолодження водою 5–30 хв, повітрям – 1–10 годин. Але для варених ковбас найефективнішим є тристадійний спосіб: зрошення водою з форсунок грубого розпилу, охолодження в гідроаерозольному середовищі, а потім – повітряне. На другій стадії може бути передбачений безперервний чи циклічний режим розпилювання води залежно від пристроїв, що забезпечують подавання води, і умов циркуляції повітряного потоку.

Порівняно новим є спосіб охолодження варених ковбас у пінному повітряно-рідинному потоці. Ковбасні вироби охолоджують двома стадіями: на першій – за рахунок випаровування води під час проходження через неї повітря, а на другій – з використанням випарювального ефекту разом з холодом, з подальшим

підсушуванням батонів упродовж 2–3 хвилин. Швидкість руху повітря 10–16 м/с. При початковій температурі продукту 70 °С і температурі води –2 °С батони охолоджуються за 50 хв (в 1,5 разу швидше порівняно з охолодженням ковбас водою, розпилюваною форсунками). Усихання становить менше як 0,3 %.

Для варено-копчених і напівкопчених ковбас доцільне повітряне охолодження при температурі 8–12 °С і швидкості руху повітря 1,5–2 м/с.

М'ясні консерви охолоджують водою, а потім повітрям при температурі 0–2 °С і швидкості охолодного середовища до 3 м/с. Тривалість охолодження до кінцевої температури не перевищує 24 годин. Для охолодження застосовують також тунелі та апарати конвеєрного типу, в яких розміщують етажерки з продуктом, картонні коробки, лотки, піддони та ін.

Субпродукти, вкладені на деках, у ящиках, формах, розміщують у камері охолодження на стаціонарних стелажах або на пересувних етажерках чи рамах не пізніше як через 5 год після забиття худоби. Субпродукти вкладають на дечка шаром не більше як 10 см, нирки, серце, мозок і язики – в один ряд, рубці охолоджують у підвішеному стані на гаках. Тривалість охолодження субпродуктів при температурі 0 °С і за відносної вологості 85–90 % близько 24 годин. Для прискорення процесу застосовують тунельні апарати (–2...–4 °С), а також непрямий контакт з рідким охолодним середовищем.

Ефективно охолоджувати субпродукти і м'ясних напівфабрикати, вкладені у картонні коробки, *снігоподібною вуглекислою* у спеціальних тунелях, при цьому кількість снігоподібною вуглекислоти, що подається на продукт, регулюють за допомогою реле часу. Для швидкого зниження температури яловичого фаршу з свіжих (парних) напівтуш до 2 °С, що необхідно на заключній стадії отримання фаршу, до м'яса додають заморожені пластівці вуглекислоти в пропорції 1:10.

Тваринні харчові жири охолоджують перед пакуванням у тару з метою надання їм щільної консистенції, однорідної структури, а також гальмування окиснювальних і гідролітичних процесів. Перед пакуванням у велику тару жири піддають одностадійному охолодженню від 65 до 40 °С (яловичий і баранячий) і 35 °С (свинячий і кістковий). Перед пакуванням у картонні контейнери свинячий жир охолоджують до 24–25 °С; перед пакуванням в дрібну тару (по 250, 500 г) на фасувальних автоматах жири, попередньо охолоджені до 35 °С для більшої пластичності, додатково охолоджують до 12–21 °С. Під час охолодження перед пакуванням у середовищі інертного газу в жирах сповільнюються хімічні і біохімічні процеси їх псування.

Тушки птиці охолоджують повітрям, льодоводяною сумішшю, льодяною водою, діоксидом вуглецю і азотом. Застосовують також комбіновані методи охолодження (зрошення туш чи занурення їх у льодяну воду, а потім у повітря).

Досить ефективним з багатьох точок зору є *занурювальне охолодження* тушок птиці у чистій льодяній воді чи в льодоводяній суміші. Після такого охолодження шкіра на тушках стає світлою і чистою, зникають плями від забиттів і крововиливів. Тушки поглинають певну кількість води (до 8 % маси), внаслідок чого вони округляються і набувають кращого товарного вигляду. Сучасний метод передбачає барботування через воду діоксиду вуглецю чи азоту з низькими температурами.

Температура льодяної води має бути не вище як 2 °С, а тривалість охолодження – 0,5–1 година. Для зменшення обсіменіння мікроорганізмами застосовують антисептики. Також застосовують гідроаерозольний метод охолодження: тушки у підвішеному стані зрошуються льодяною водою з форсунок упродовж 30–35 хв.

Щодо санітарних вимог найефективнішим є *комбіноване охолодження* (зрошення – занурення, зрошення – занурення – оброблення повітрям). За методом зрошення – занурення тушки без потрухів попередньо охолоджують, безперервно зрошуючи водопровідною водою з відцентрових форсунок упродовж 10–15 хв. залежно від виду птиці. Далі тушки занурюють у воду температурою 0–2 °С на 25–35 хв до досягнення температури в товщі грудного м'яза 0–4 °С. Під час повітряного доохолодження частково випаровується вода, набута тушками під час зрошення, і вони внаслідок цього охолоджуються. Під час охолодження в льодяній воді тушки поглинають 3...8 % вологи, з урахуванням випаровування їх маса зростає на 4 %.

Тривалість охолодження птиці *інтенсифікованим повітряним методом* (температура – 0...–2 °С, швидкість руху повітря – 4 м/с) становить 3–6 год залежно від маси і вгодованості тушок. Повітряне охолодження застосовують лише для тушок після сухого вищипування і теплового оброблення, інакше м'ясо зневоднюється і втрачає товарний вигляд.

Дуже ефективно застосування для охолодження тушок птиці *снігоподібної вуглекислоти*, яку вводять до внутрішньої порожнини тушки з розрахунку 0,07 кг на 1 кг маси тушки. Цього досить, щоб дуже швидко охолодити тушку до середньооб'ємної температури 0 °С.

Яйця, що надходять на холодильник, попередньо охолоджують до температури зберігання в спеціальній камері. Початкова температура має бути на 2–3 °С нижча як температура яєць, потім її поступово знижують (на 1–2 °С упродовж 1–2 год); відносна вологість повітря у період охолодження – 75–80 % за швидкості його руху 0,3–0,5 м/с. Процес охолодження, залежно від початкової температури, триває 2–3 доби. Яйця після досягнення температури 2 °С подають на зберігання.

9.3. Заморожування м'яса та м'ясопродуктів

М'ясо великої рогатої худоби і свиней заморожують, як правило, в напівтушах і четвртинах, баранину – в тушах. Крім того, м'ясо заморожують у блоках, сортових відрубках і дрібній розфасовці.

Для заморожування м'ясо в тушах і напівтушах підвісними коліями подається до морозильних камер або тунельних морозильних апаратів. Камери *однофазного заморожування* призначені для заморожування м'яса у вигляді туш, напівтуш у парному стані з температурою в товщі м'язів стегна не нижче 35 °С. За відсутності таких камер м'ясо заморожують *двофазним способом*, попередньо охолодивши його до температури 0...–4 °С в товщі м'язів стегна.

За однофазного заморожування зменшуються втрати маси, скорочуються затрати праці на транспортування, раціональніше використовуються холодильні камери, не погіршується якість м'яса. Яловичі напівтуші заморожують за таких параметрів: температура –30...–40 °С, швидкість руху повітря 2–5 м/с, відносна вологість

повітря 95–100 %; тривалість процесу – до 24 год. Тривалість заморожування свинячих напівтуш і баранячих туш становить відповідно 18–20 і 14–16 годин.

Заморожування м'яса інтенсифікується зниженням температури, збільшенням швидкості руху повітря, використанням кріорідин і нетрадиційних фізичних методів (підвищення тиску повітряного потоку, застосування ультразвуку, вібрації тощо). *Жиловане м'ясо та субпродукти* заморожують у плиткових швидкоморозильних апаратах у вигляді блоків.

Максимальна швидкість заморожування досягається застосуванням кріорідин. При цьому значно зростає коефіцієнт тепловіддачі, забезпечується прискорений теплообмін, максимально зберігається початкова якість продукту, зменшується його усихання. Крім того, забезпечується підвищена зворотність біологічних процесів. Продукти, заморожені у кріорідинах, менше підлягають впливу холодового шоку, в них не відбувається денатурація білка; під час варіння таке м'ясо виходить ніжнішим і соковитішим, бо не втрачається клітинний сік.

Биту птицю заморожують у *повітрі* після попереднього охолодження чи без нього. Тривалість заморожування птиці в тарі залежить від її виду і вгодованості, від температури і швидкості руху повітря: при -18°C і за природної циркуляції повітря – 48–72 год, при $-23\ldots-26^{\circ}\text{C}$ і за швидкості руху повітря 1–1,5 м/с – 18–20 год (кури, качки), 35–40 год (гуси, індики).

Для швидкого заморожування використовують швидкоморозильні апарати тунельного типу, у яких підтримується температура $-30\ldots-40^{\circ}\text{C}$ за інтенсивного руху повітря. Тривалість такого заморожування становить 4,5–10 год залежно від вгодованості і виду птиці. Втрати маси під час заморожування становлять 0,2–0,4 %.

Для *заморожування в рідких холодоносіях* найчастіше застосовують водні розчини хлористого натрію і кальцію, пропілен- і етиленгліколю з попереднім вакуумуванням птиці в термоусадній плівці. При температурі -25°C і за швидкості циркуляції середовища 0,1 м/с тривалість процесу заморожування упакованих тушок курей масою 1–2 кг становить 0,5–1 годин. За повітряного способу така тривалість досягається лише при -50°C і за швидкості руху повітря 3 м/с.

Перспективним є застосування модульних швидкоморозильних апаратів, що працюють на *рідкому азоті* чи *діоксиді вуглецю*, розпилюваних форсунками у зоні заморожування. Під впливом утворених при цьому парів відбувається попереднє охолодження і вирівнювання температури за об'ємом продукту. Попереднє охолодження продукту виключає його подальше розтріскування, а отже, скорочує втрати маси під час розморожування і кулінарного оброблення. Тривалість заморожування напівтушок курей до середньооб'ємної температури -18°C становить 6 хвилин.

Субпродукти заморожують на дечках, що вкладають на рами, етажерки чи стелажі, чи у блоках при температурі $-30\ldots-55^{\circ}\text{C}$ і за швидкості руху повітря 1–2 м/с. Тривалість заморожування за двофазного способу – 12 год, за однофазного – 18 год, під час заморожування в морозильних апаратах – відповідно 3–4 і 4–7 годин.

Цілі яйця заморожуванню не підлягають, проте заморожують яєчний меланж, альбумін (білки) і жовтки з цукром для випікання хлібобулочних виробів, а також солоний жовток (застосовується для вироблення майонезу і приправ для салату),

жовток без цукру і солі (застосовується для дитячого харчування і в рецептурі лапші) і спеціальні яєчні продукти (суміш для яєшні, омлети, суфле, кубики, тощо).

Для тривалого зберігання меланж заморожують при $-35...-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ і зберігають при цій самій температурі. Для заморожування придатні лише дуже свіжі яйця, в деяких випадках для знищення сальмонел їх додатково стерилізують з використанням зворотного осмосу і ультрафільтрації. Ефект желювання можна звести до мінімуму додаванням 5–10 % солі, 10 % цукрози чи 5 % гліцерину. Ефекту гумистості альбуміну можна уникнути застосувавши кріогенне заморожування в діоксиді вуглецю чи скрапленому азоті.

9.4. Зберігання м'яса та м'ясних продуктів

Охолоджене м'ясо зберігають при температурі повітря $0 \dots -1\text{ }^{\circ}\text{C}$, за відносної вологості 85–90 % і помірної циркуляції (0,1–0,2 м/с). Охолоджені напівтуші розміщують у камерах зберігання на підвісних коліях на відстані 3–5 см одна від одної.

Під час зберігання слід забезпечити теплову рівновагу між м'ясом і повітрям, але досягти цього складно, бо через випаровування води з поверхні виникає психрометрична різниця температур, а отже відбувається постійний тепловологообмін між повітрям і продуктом. Тому в камерах зберігання циркуляція повітря має бути мінімальною, але достатньою для уникнення його застоювання, що спричиняє розвиток плісняв.

Рекомендується різні види м'яса зберігати окремо. Терміни зберігання охолодженого м'яса залежать від пори року, тривалості відпочинку і стану тварини перед забиттям, вгодованості, міри знекровлення, санітарно-гігієнічного стану туші, камер холодильного оброблення і зберігання та ін.

Переохолоджене м'ясо з температурою по всьому об'єму туш і напівтуш $-1...-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ також зберігають у підвішеному вигляді. Граничні терміни зберігання охолодженого м'яса при температурі $0...-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ залежно від виду і стану м'яса становлять 7–12, переохолодженого – до 17 діб.

Подовжити зберігання охолодженого м'яса можна при гранично низьких температурах зберігання (до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$); у газовому середовищі з підвищеним вмістом азоту, або азоту та вуглекислого газу; у вакуумній упаковці, що сповільнює окисні процеси і запобігає усиханню; консервантами й антиокисниками в упакованому і розфасованому м'ясі; обробленням поверхні м'яса спеціальними плівкотвірними речовинами (ацетильовані моногліцериди).

Ефективним є зберігання охолодженого м'яса в герметичній упаковці з попередньо створеним модифікованим газовим середовищем, що складається в основному з вуглекислого газу під невисоким надлишковим тиском (до 50 кПа) та при температурі $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Низький вміст кисню (до 1 %) практично виключає зміну кольору м'яса, що спостерігається під час зберігання у вуглекислотних середовищах з порівняно високим залишковим тиском кисню. При цьому високі споживчі якості м'яса зберігаються протягом декількох тижнів. Модифіковане газове середовище дає змогу значно подовжити зберігання напівфабрикатів (зокрема фаршу), субпродуктів, ковбасних виробів та інших продуктів.

Морожене м'ясо розміщують на зберігання у щільних стійких штабелях,

укладених на рейки чи решітки, напівтуші і четвертини – в універсальних контейнерах декількома ярусами або на підвісних коліях. Його зберігають при температурі не вище як -18°C , за відносної вологості повітря 95–100 %, та природної циркуляції (0,1 м/с). Терміни зберігання яловичини в напівтушах і четвертинах – 12, свинини – 6 місяців. Зниження температури зберігання до -30°C і нижче дає змогу збільшити терміни зберігання, і значно зменшити усихання. На деяких холодильниках (Японія, США) застосовують температуру зберігання -50°C .

Для скорочення втрат маси штабелі вкривають брезентом, тканиною з шаром льодяної глазури, екранують пристінні батареї, застосовують систему повітряного охолодження з активним зволоженням повітря в камері зберігання тощо.

Підморожене м'ясо економічно ефективно зберігати в штабелях заввишки 1,5–2 м, вкладаючи яловичі напівтуші в 5–6, а свинячі напівтуші і баранячі туші – в 7–8 рядів. Таке м'ясо перевозять в авторефрижераторах і поїздах при температурі близько -2°C до 7–9 діб, зберігають на розподільних холодильниках до 7 діб при температурі -2°C і за відносної вологості повітря 92–95 %.

Для збільшення термінів зберігання, збереження якості і зниження усихання доцільно упаковувати м'ясо у відрубках в термоусадні плівки з вакуумуванням. Це сповільнює окиснювальні процеси в м'ясопродуктах, запобігає розвитку мікроорганізмів, зберігає природний колір і збільшує терміни зберігання м'яса вдвічі.

Субпродукти зберігають розсортованими по видах у металевих ящиках, оббитих зсередини оцинкованим залізом, на металевих піддонах, у пластиковій тарі.

Ковбасні вироби (варено-копчені, напівкопчені та сирокопчені) зберігають у підвішеному стані так, щоб вони не торкалися між собою, або упакованими у дерев'яну, пластикову чи картонну тару. *М'ясні стерилізовані* консерви зберігають при температурі повітря $0-15^{\circ}\text{C}$ і за відносної вологості не вище 75 % (оптимальна температура близько 0°C). *Пельмені* зберігають у холодильних камерах при температурі не вище як -18°C не довше ніж 1 місяць від дня виготовлення. У торговельній мережі допускається зберігання при температурі не вище як -5°C до 48 год, але у низькотемпературних прилавках – бажано при температурі не вище -18°C . Розморожування і повторне заморожування готових пельменів неприпустиме, бо воно призводить до їх злипання, потемніння тістової оболонки та фаршу.

Охолоджену птицю зберігають в ящиках, складених у штабелі з проміжками 10 см. Температура повітря становить $0...-2^{\circ}\text{C}$, відносна вологість – 80–85 %, термін зберігання – не більше як 5 діб від дня вироблення. Тривалість зберігання м'яса птиці визначається активністю розвитку мікроорганізмів, що викликають ослизнення і появу неприємного запаху. Зміни білкових і жирових компонентів настають значно пізніше і практично не впливають на стійкість зберігання охолодженої птиці. Упаковка в полімерні плівки дає змогу знизити усихання (в 10 разів), поліпшити санітарний стан продукту і підвищити культуру торгівлі. Термін зберігання такої птиці без додаткових засобів становить 5–6 діб. Застосування снігоподібної вуглекислоти, зміненого чи комбінованого газового середовища дає змогу подовжити зберігання охолодженої птиці за збереження високої якості.

Морожену птицю розміщують на зберігання так само, як і охолоджену. Температура повітря в камері холодильника – не вище як -12°C , відносна вологість

– 85–95 %. Пакування з вакуумуванням у термоусадкову плівку дає змогу значно знизити інтенсивність гідролітичних і окиснювальних процесів. Підморожені тушки птиці зберігають при температурі -2°C і за відносної вологості повітря 95 % упродовж 25–30 діб (з урахуванням транспортування і реалізації). Транспортування і зберігання птиці у підмороженому стані потребує втричі менших видатків, ніж замороженої, а птиця зовні не відрізняється від охолодженої.

Напівфабрикати (філе, стегенця, крильця тощо) охолоджують і реалізують у охолоджену вигляді або заморожують у вигляді блоків, що зручно для тривалого зберігання і транспортування. Термін зберігання заморожених курячих напівфабрикатів при температурі -18°C становить 12 місяців. Охолоджені курячі напівфабрикати зберігають при температурі $0\text{--}+4^{\circ}\text{C}$ до 2 діб.

Яйця зберігають у картонних коробах чи дерев'яних ящиках. Оптимальна температура зберігання $-1\text{--}-2^{\circ}\text{C}$ за відносної вологості повітря 85–88 %. Ящики складають у штабелі, забезпечуючи достатню циркуляцію повітря. Термін зберігання за цих умов – до 6 місяців. Зниження температури зберігання до $-2\text{--}-2,5^{\circ}\text{C}$ сприяє кращому збереженню яєць, термін їх зберігання у переохолоджену стані подовжується до 12 місяців.

Яєчні продукти зберігають лише в замороженому стані, упакованими в банки, картонні і пластикові ящики з вкладишами з поліетиленової плівки. Яєчні продукти надходять на зберігання при температурі не вище як -8°C (в центрі банки, блоку); при температурі -12°C і за відносної вологості повітря 80–85 % термін їх зберігання до 8 міс, а при $-18\text{--}-25^{\circ}\text{C}$ – до 10–15 місяців.

Запитання для самоперевірки

1. Навіщо використовують лускоподібний лід під час вироблення ковбас?
2. Яка різниця між технологіями вироблення варених і варено-копчених ковбас?
3. Якими способами охолоджують м'ясо у напівтушах? Опишіть процеси одно- та багатостадійного охолодження.
4. Якими способами заморожують м'ясо у напівтушах?
5. Як охолоджують ковбаси, субпродукти, фарш, тваринні жири?
6. Як охолоджують тушки птиці? У чому перевага методу «зрошення – занурення»?

10. ХОЛОДИЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ РИБИ ТА РИБНИХ ПРОДУКТІВ

10.1. Стислий опис технології

Соління риби – це спосіб консервування риби за допомогою кухонної солі. Його використовують як самостійний спосіб консервування та як підготовчу стадію для інших способів консервування (копчення, сушіння, маринування тощо). Під час просолювання змінюється склад м'яса риби: воно втрачає характерний рибний запах і смак, стає щільнішим. Відбувається окиснення та гідроліз жиру. Просолену рибу можна вживати в їжу.

Існують сухий, мокрий (тузлучний) та змішаний (комбінований) способи соління. Залежно від тари, у якій здійснюється соління, вирізняють чановий,

бочковий, банковий, ящиковий, контейнерний і стоповий.

Мокре соління здійснюють у насиченому розчині кухонної солі (тузлуці). Для сухого соління рибу змішують з сухою сіллю. Змішаний спосіб застосовують для засолювання оселедців у бочках на суднах та у чанах на березі. Риба одночасно засолюється і сухою сіллю, і тузлуком, тобто обкачану в солі рибу завантажують у бочки, а потім заливають тузлук. У такому разі тузлук залишається насиченим, процес проходить швидше.

Банкове соління використовують на плавбазах. Використовують жерстяні чи полімерні банки місткістю 1–5 кг. До засолювальної суміші додають цукор та антисептик. Після осадження чи підпресовування банки закупорюють та ставлять для визрівання при $-1...-2$ °С. Готову продукцію зберігають при $-2...-5$ °С.

Пряне соління передбачає додавання до риби цукру та прянощів. Для визрівання пряну рибу витримують у охолоджуваних приміщеннях ($0-10$ °С) протягом 10–30 діб.

Вирізняють *тепле*, *охолоджене* та *холодне* соління. Тепле соління здійснюють без охолодження риби у неохолоджуваних приміщеннях. Охолодженим називається соління, перед яким рибу охолоджують у чанах подрібненим льодом (до $0-5$ °С) або засолюють у охолоджуваних приміщеннях з температурою $0-7$ °С. Холодне соління використовують для засолювання великої жирної риби цінних порід (білуга, осетер, сьомга тощо). Рибу перед солінням підморожують до $-2...-4$ °С за допомогою льодосоляної суміші, натирають сіллю, вкладають у засільні посудини і солять сухим чи змішаним способом.

Якщо рибна сировина заморожена, то розморожування та просолювання суміщають. Їх проводять у засільно-дефростаційних ваннах, обладнаних барботерами для подавання пари під час розморожування і розсільними батареями для охолодження риби під час засолювання. Рибу розморожують у міцному тузлуці протягом 4–6 год до температури 0 °С, після чого подавання пари припиняють і подальше засолювання проводять при температурі не вище як 5 °С.

Пресерви – це закупорені нестерилізовані консерви. Рибні пресерви (солоня, пряна чи маринована риба) можуть зберігатися довше завдяки введенню консерванту – бензойнокислого натрію. Залежно від підготовки сировини та доданих інгредієнтів пресерви поділяють на чотири групи: спеціального засолу, пряного засолу, у соусах і рибні пасти.

Використовують два основні способи вироблення пресервів. У першому випадку рибу або рибне філе засолюють безпосередньо у банках. Рибу вкладають у банки, пересипають пряно-засільною сумішшю і залишають для просолювання та осадження, після чого додають за потреби рибу чи тузлук і закупорюють банки. Другий спосіб передбачає засолювання у бочках, які після заповнення вміщують у охолоджуване приміщення (близько 0 °С) на 1–2 місяці, потім рибу розфасовують у банки і заливають пряною заливкою. Банки герметично закупорюють і зберігають у холодильнику при температурі 0 °С до повного визрівання пресервів (1–3 міс.).

Для приготування *обсмаженої риби* приготувану риб'ячу сировину у вигляді шматочків чи філе солять, залишають для стікання впродовж 20-25 хв, панірують борошном і обсмажують в олії при температурі $160-170$ °С впродовж 5–10 хв. Потім

рибу охолоджують, розкладають у банки і заливають гарячим томатним соусом. Банки закупорюють. Термін зберігання таких пресервів становить не більше як 3 доби при температурі близько 0 °С.

Рибні пасти виготовляють з оселедців, анчоусів, сардин, скумбрії. Рибу миють, очищують від нутрощів і голів, подрібнюють з додаванням солі, цукру, прянощів, жиру, ферментних препаратів (для прискорення визрівання). Після перемішування суміш ще раз ретельно подрібнюють, фасують і подають на зберігання. Визрівання відбувається на початковій стадії зберігання. Рибні пасти зберігають при температурах –5...+5 °С.

Рибні консерви відрізняються від пресервів тим, що проходять теплову стерилізацію у автоклавах під тиском при температурі 110–120 °С. Тому використання штучного холоду тут менш необхідне, ніж для пресервів. Виділяють такі основні види консервів: натуральні, в олії, рибно-овочеві, паштети та пасти.

Найпоширенішим серед напівфабрикатів з риби є філе. На спеціальних машинах від риби відділяють голови, нутрощі, кістки та заморожують її. Філе великої риби нарізають на шматки для зручності споживача.

Популярними серед споживачів є продукція з фаршу *сурімі* – аналоги делікатесного м'яса крабів, креветок, омарів тощо. Для виготовлення сурімі традиційно використовують м'ясо риб сімейства тріскових (минтай, хек, хокі та ін.) – так званої білої риби, що містить мало кісток і жиру. Рибне філе нарізають на дрібні шматки і промивають у великій кількості холодної води (кількість промивань і витрата води залежать від виду та свіжості риби). Під час промивання частково чи повністю видаляються водорозчинні білки, ферменти, інші сполуки, значно зменшується вміст жиру та холестерину. Після цього продукт зневоднюють до вологовмісту близько 80 % (один зі способів – варіння на пару), внаслідок чого отримують сурімі – щільну світлу масу, що не має характерного рибного запаху, проте зберегла значну кількість поживних речовин, наявних у сирій рибі.

10.2. Охолодження риби та морепродуктів

Рибу охолоджують льодом, охолодженою прісною та морською водою, холодним повітрям, кріогенними рідинами (рідкий азот), комбінованими методами (льодяна вода і лід; лід і рідкий азот та ін.). Охолодження і заморожування – найважливіші технологічні процеси у рибній промисловості. Рибу та морепродукти, оброблені холодом, застосовують як напівфабрикати, а також у охолоджену чи заморожену стані реалізують у роздрібній торгівлі.

Для охолодження риби *льодом* застосовують різні його види – лускоподібний, трубчастий та ін. Найпоширенішим способом є охолодження в інвентарній тарі (ящиках, контейнерах, кошиках, мішках та ін.). Для цього розсортовану за розміром рибу ретельно промивають чистою водою, дають їй стекти, після чого вкладають рибу в непотрошеному чи потрошеному вигляді в тару з льодом. При цьому на дно тари вміщують шар подрібненого льоду завтовшки 2–3 см, поверх нього вкладають рибу, потім знову – шар льоду. Велику рибу вкладають рівними рядами головами в різні боки до стінок тари, а дрібну насипають рівномірним шаром завтовшки не

більше як 10 см. Можливе і попереднє перемішування риби з льодом з подальшим укладанням риβολьодяної суміші в тару; зверху насипають додатковий шар льоду.

Під час зберігання і транспортування риби на суднах з *охолоджуваними трюмами* витрата льоду в ящиках становить 30–40 % маси риби. Під час охолодження риби в діжках на дно насипають не менше як 20 %, а на верхній ряд риби – не менше як 30 % усієї кількості льоду. Застосування *термоізованих контейнерів з льодом* дає змогу підвищити якість риби, забезпечує економію льоду, бо під час перевезення в контейнерах лід тоне на 75 % повільніше, ніж в ящиках. проте такі контейнери застосовують лише в районах з холодним кліматом.

Охолодження риби льодом має ряд недоліків: нераціонально використовуються виробничі приміщення, камери холодильників, трюми суден, ускладнений кількісний і якісний контроль і облік риби, у деяких випадках не забезпечується швидке зниження температури вилову та ін.

Охолодження риби *за допомогою охолодженої морської чи прісної води* має ряд переваг: швидше зниження температури риби, економічність процесу під час охолодження, транспортування і вивантаження в кінцевих пунктах. Найбільші недоліки – набухання і просолювання за використання охолодженої морської води. Негативний вплив охолодженої води зменшується зі зниженням температури, але він досить виражений навіть при температурах, близьких до криоскопічної. Тому тривалість зберігання вилову в охолодженій воді обмежена кількома днями, іноді годинами, і залежить від технохімічних особливостей риби: проникності шкіряного покриву, консистенції м'яса, розмірів та ін. Особливо швидко негативний вплив охолодженої води виявляється під час зберігання в ній дрібної риби (шпроти, хамса), ракоподібних і молюсків.

У *рідкому середовищі* рибу охолоджують зануренням чи зрошенням. При цьому застосовують прісну або морську воду чи 2 %-й розчин хлористого натрію у воді, осмотичний тиск якого порівняний з тиском тканинного соку риби. На промислових суднах рибу одразу після виловлення занурюють у спеціальних кошиках у бак з циркулюючим охолодним середовищем. Добрі результати дає додавання до води льоду (співвідношення риби, води і льоду відповідно 2:1:1). Охолоджувати можна і зрошенням холодним розсолон на конвеєрі, де риба у міру його просування зрошується через форсунки чи інші пристрої. Ефективне використання замість льодоводяної суміші льодоводяної суспензії, або льоду-шуги (ice-slurry, айссларрі). Тривалість охолодження в холодній воді залежить від розмірів риби, температури води, швидкості її циркуляції, конструкції охолодника і становить від кількох хвилин до 3 год.

Охолодження риби *під вакуумом* ґрунтується на частковому випаровуванні води з її поверхні під час зниження тиску (не нижче як 400 Па), що значно скорочує тривалість охолодження за незначних втрат маси продукту.

Рідкий азот застосовують для охолодження морської води, крім того, його застосовують разом з льодом і самотійно для охолодження і зберігання упакованої і неупакованої риби. В першому випадку рідкий азот впорскують у морську воду для її охолодження до 0...–2 °С, після чого завантажують у цю воду рибу. У міру отеплення води впорскування рідкого азоту повторюють. Під час транспортування вантажна місткість може охолоджуватися періодичним впорскуванням рідкого азоту

до кузова авторефрижератора. Ще ефективнішим є застосування рідкого азоту в комбінації з льодом. Завдяки застосуванню рідкого азоту для охолодження значно зростають (в 2–3 рази) подальші терміни зберігання риби.

Копчену рибу, деякі види рибних напівфабрикатів і продуктів кулінарії, для яких небажаний контакт з водою чи льодом, охолоджують у повітряному середовищі. Застосування при цьому діоксиду вуглецю чи рідкого азоту інтенсифікує процес та істотно поліпшує якість продукту.

10.3. Заморожування риби та рибних продуктів

Широко застосовують заморожування морських риб, частка яких у світовому добуванні становить близько 85 %. Риба може бути заморожена одноразово (на судах) і дворазово (на судах, а потім на березі). У першому випадку безпосередньо на судах здійснюють повне потрошіння риби, видалення нутрощів, луски, нарізання на порції і заморожування у вигляді готового продукту чи напівфабрикату. У другому випадку рибу заморожують на судах без попереднього потрошіння, потім її розморожують на березі, потрошать, поділяють на порції, упаковують в індивідуальну упаковку і знову заморожують.

До основних переваг заморожування у непотрошеному вигляді слід віднести простоту і низьку вартість технологічного обладнання, придатного для оброблення риби різних видів, розмірів і кількості. Крім того, товарний вигляд такої риби кращий. Недоліки: необхідність оброблення і зберігання менш цінних частин, що становлять 40–50 % маси риби. За даними МІХ, різниця у якості між рибою дво- і одноразового заморожування незначна, якщо дотримано оптимальних умов у процесі першого заморожування і подальшого зберігання продукту.

Перед заморожуванням рибу сортують, а у великої видаляють нутрощі, слиз змивають чистою водою. Рибу заморожують різними способами.

Повітряне заморожування за допомогою природного холоду (при температурі навколишнього повітря не вище як -10°C) застосовують у місцях підльодного вилову. Це найпростіший і найекономічніший спосіб. Рибу розкладають на підготованому льодяному майданчику поштучно в один ряд, щоб забезпечити максимальний теплообмін поверхні з повітрям, у міру заморожування рибу перевертають. Велику рибу заморожують у підвішеному стані, дрібну розкладають шаром завтовшки не більше як 12 см. За сильного морозу і вітру риба заморожується швидко, при цьому забезпечується висока якість продукту і значна економія енергії.

Рибу заморожують у суміші льоду і кухонної солі, в якій одночасно йдуть плавлення льоду і розчинення солі (спосіб Оттесена). При цьому кірочка льоду перешкоджає проникненню солі. Тривалість заморожування шару риби до 6 см становить 10–11 годин.

Заморожування *зрошуванням розчином* (спосіб Заротченцева – Тейлора) передбачає спочатку охолодження риби чистою водою, а потім зрошення розчином кухонної солі з температурою $-16\ldots-20^{\circ}\text{C}$ з подальшим споліскуванням. Тривалість цього способу вдвічі перевищує час заморожування попереднім способом.

Рибу заморожують також у *камерах* при температурі $-23\ldots-30^{\circ}\text{C}$ з природною і примусовою циркуляцією повітря. Під час заморожування порівняно великих

об'єктів, наприклад блоків з риби, оптимальна швидкість руху повітряного потоку становить 5 м/с; під час поштучного заморожування продуктів малого розміру у *повітряних морозильних* апаратах швидкість руху середовища підвищена до 10 м/с.

На сучасних промислових суднах рибу і морепродукти заморожують, як правило, *контактним способом* з використанням горизонтальних і вертикальних плиткових морозильних установок. Перевагою цього способу є можливість отримувати блоки правильної геометричної форми. Такі блоки, виготовлювані за кордоном з філе, з суміші філе і фаршу чи лише з фаршу, широко застосовують для вироблення рибних напівфабрикатів, що користуються підвищеним попитом.

Дрібну, середню і велику рибу, вміщену в блок-форми, заморожують стандартними блоками розміром 800×250×60 мм (масою до 12 кг) у *металевих формах з кришками*. Рибу в дрібній фасовці, попередньо упаковану в картонні коробки, пакети з полімерної плівки, заморожують у відкритих дечках. Тривалість заморожування до -18°C становить: риби в блоках завтовшки 60 мм – 3–5 год; великої і середньої риби, вкладеної в піддони, – 3–6; осетрових та інших великих риб у підвішеному стані – 6–10 год.

Контактний спосіб заморожування в плиткових морозильних апаратах застосовують для заморожування риби дрібних і середніх розмірів, а також філе, фаршу і рибної кулінарії. Продукт вміщують між двома металевими плитами, всередині яких циркулює холодоагент чи холодоносії. Потім плити зсувають, створюючи певний тиск на продукт, що забезпечує його підпресовування під час заморожування. Тиск (у межах 0,01–0,1 МПа) регулюють за допомогою гідравлічного приводу і встановлюють залежно від виду продукту, його властивостей і виду упаковки. Тривалість заморожування риби в плиткових морозильних установках залежить від товщини блока – зі збільшенням товщини подовжується процес і знижується продуктивність установки. Для риби різних видів з товщиною блоків від 30 до 100 мм тривалість заморожування становить від 40 до 180 хвилин.

До специфічних рибних об'єктів холодильного оброблення належить риба тунцевого промислу, що має великі розміри і масу. Її слід заморозити впродовж декількох годин, тому повітряний спосіб непридатний, а застосовують, як правило, *розсільний*, що ґрунтується на використанні концентрованих розчинів хлористого натрію ($-15\ldots-18^{\circ}\text{C}$) і хлористого кальцію (-30°C). Причому у разі використання хлористого натрію показники якості риби значно гірші через просолювання і слабкий теплообмін, а в Японії інтенсифікація процесу шляхом зниження температури розчину хлористого кальцію до -45°C показала переваги цього способу перед повітряним заморожуванням при температурі -55°C .

Заморожування в *рідкому азоті* забезпечує дуже високу ефективність холодильного оброблення, але через високу вартість скраплених газів в 2–3 рази перевищує вартість традиційного заморожування. Тому такий спосіб вискоєфективний лише для оброблення дорогої продукції, (краби, креветки, лососеві тощо), і дає змогу отримати морожений напівфабрикат високої якості за мінімальних втрат маси. Цей спосіб комбінують з повітряним заморожуванням, використовуючи рідкий азот лише для швидкого зниження температури в критичній зоні (до $-5\ldots-7^{\circ}\text{C}$). Так, рибопродукти направляють на берегове підприємство в охолодженому

вигляді, зачищають, упаковують під вакуумом і заморожують в криогенній установці до температури не вище -5°C упродовж 32 хвилин. Заморожене філе, фарш, напівфабрикати швидко перекладають у картонні ящики по 10–21 кг і доморожують до -20°C у повітряній морозильній установці. За показниками якості філе комбінованого заморожування переважає філе, заморожене у плиткових морозильних установках на суднах в умовах промислу.

Вуглекислотні установки за кордоном застосовують для поштучного заморожування рибного філе, напівфабрикатів, ракоподібних, молюсків. Охолодження середовища в тунельних, стрічкових і спіральних-стрічкових установках відбувається за рахунок сублімації твердого двоокису вуглецю при температурі до -78°C , а холодоносії, що подається в установку, забезпечує температуру газового середовища близько -70°C . Використання вуглекислотної установки, незважаючи на високу вартість заморожування, економічно вигідніше від повітряного методу бо забезпечує вищу (в 4 рази) продуктивність і менше обсіменіння бактеріями, що відмирають в атмосфері вуглекислоти, а отже вищу якість продуктів.

10.4. Зберігання риби та морепродуктів

Охолоджену рибу зберігають у холодильних камерах у ящиках або у неохолоджуваних приміщеннях в ящиках з льодом. Застосування антисептиків (гіпохлорид, перекис водню) і антибіотиків (біоміцин, хлортетрациклін, тераміцин тощо) дає змогу збільшити терміни зберігання в 1,5–2 рази. Охолоджену рибу, що надійшла до місця споживання, одразу спрямовують на реалізацію чи кулінарне оброблення.

Важливою умовою збереження якості замороженої риби є її висока якість перед заморожуванням, що залежить від її фізіологічного стану в момент вилову, способів вилову та оброблення.

Під час зберігання жирної риби вирішальним фактором, що визначає її стійкість, є окиснювальне згіркнення, а нежирної – денатураційні зміни білків. Окиснювальні процеси в жирах спричиняють насамперед небажані зміни смаку, а денатурація білків призводить до погіршення структури м'язових тканин.

Для захисту від усихання і окиснення під час зберігання мороженої рибу глазують, упаковують у полімерні плівки, коробки, ящики. Поштучно заморожене рибне філе упаковують у пакети з полімерної плівки, картонні коробки, пластмасові лоточки. Упаковку в споживчу тару також широко застосовують для мороженої продукції з молюсків. Особливо високі вимоги ставлять до пакувальних матеріалів, використовуваних для упаковки жирної риби: паро- і газонепроникність, стійкість до впливу жиру, захист від світла.

Ящики з мороженою рибою складають у штабелі з прокладками між рядами для забезпечення вільної циркуляції повітря. Чим щільніше складена морожена риба в штабелі, тим краща її збережуваність і менше усихання. Для зменшення усушки, в блоки перед заморожуванням заливають воду.

Велику цінну рибу глазують льодом для запобігання її усиханню, окисненню жиру. Льодяну кірочку (глазур) отримують триразовим зануренням блоків чи окремої риби з температурою не вище ніж -18°C у воду з температурою $1-2^{\circ}\text{C}$. Тривалість кожного занурення – 2 с. Для прискорення процесу утворення

льодяної кірочки і збільшення її міцності морожену рибу після занурення у воду витримують у потоці холодного повітря (швидкість 2–3 м/с) упродовж 10–20 с. Маса глазури становить 2–4 % маси риби.

Морожену рибу родини осетрових (глазуровану і неглазуровану) вкладають у штабелі, вкривають водопоглинальним матеріалом, на який наморожують льодяну глазуру. Під час глазурування риби, особливо жирної, що схильна до згіркнення (оселедець тощо), в глазурувальний розчин можуть вводити антиокисники (бутилгідрооксианізоль, етилові і пропілові ефіри галової кислоти, α -токоферол, аскорбінова кислота та її натрієві й калієві солі, бутилокситолуол та ін.). Глазурування дає змогу збільшити термін зберігання деяких видів риб на 4–6 місяців.

Проте льодяна глазура порівняно швидко сублімується, через що може зникнути вже через кілька місяців. Тому для захисту мороженої риби впродовж тривалого холодильного зберігання на її поверхню наносять не воду, а водні розчини плівкотвірних речовин, що мають високі адгезійні властивості (полівініловий спирт у суміші з різними модифікаторами – оксиметилцелюлозою, оксипропілцелюлозою, карбоксиметилцелюлозою). Після випаровування води на поверхні риби утворюється газонепроникна оболонка, стійка до механічного впливу.

Прогресивним методом є зберігання риби, замороженої в альгінатних гелях (полісахариди, що отримують із деяких видів морських водоростей). Альгінати розчинні у воді і за низьких концентрацій утворюють розчини з високою в'язкістю, що дає змогу отримати на поверхні риби захисний шар гелю. На поверхні риби, зануреної в розчин гелю, після заморожування формується щільний шар, що повністю ізолює продукт від впливу кисню, а позаяк температура замерзання гелю приблизно на 3 °C нижча, ніж температура замерзання самої риби, то під час розморожування гелю легко відділяється, причому шкіра риби не пошкоджується. За такого способу повністю виключаються природні втрати риби під час зберігання.

Для збереження якості нежирної риби замість наморожування води ефективним є нанесення захисної плівки з термопластичних восків (парафіну), змішаних з невосковими речовинами. Ці покриття паро- і повітронепроникні, під час зберігання при низьких температурах не розтріскуються. Їх наносять зануренням замороженої риби у розплав з температурою 60 °C. Вакуумне пакування мороженої риби у плівку дає змогу збільшити термін її зберігання на 3–4 місяці, скоротити втрати маси, забезпечити ефективну технологію реалізації риби споживачу.

Загалом терміни зберігання мороженої риби залежать від її виду і хімічного складу, пори року і району промислу, початкового стану, способу потрошіння, способу і режимів заморожування, виду упаковки, температурно-вологісного режиму зберігання та інших факторів. Зниження температури зберігання тунця до –50 °C і нижче дає змогу зберігати рибу необмежено довго, причому якість її практично не змінюється. Проте таке заморожування та зберігання потребує великих енергозатрат для холодильних машин та коштів на теплоізоляцію низькотемпературних камер.

Підморожену рибу вкладають у ящики, зберігають і транспортують при температурі –2 °C. Під час зберігання і транспортування доцільне використання природного холоду (найчастіше дробленого водного льоду). За короткострокового і незначного коливання температури (від 0 до –5 °C) та щільного складання ящиків у

штабелі температура основної маси риби практично стала, і якість не змінюється. Відносна стійкість температури підмороженої риби завдяки більшій акумуляції холоду дає змогу заготовлювати рибу у промисловому масштабі і перевозити на далекі відстані протягом 5–7 діб.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке соління риби? Чому засолена риба зберігається довше, ніж свіжа?
2. Які способи соління використовують у промисловості?
3. Які температурні умови теплового, охолодженого, холодного соління? У яких випадках використовують кожне з них?
4. Що таке пресерви? Як досягається подовження терміну зберігання рибних пресервів?
5. Яка відмінність між консервами та пресервами? Як здійснюється розмороження рибної сировини для вироблення консервів?
6. Що таке сурімі? Опишіть технологію його виготовлення.
7. Які існують способи заморожування риби.
8. Для чого і як глазують рибу?

11. ХОЛОДИЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ МОЛОКА ТА МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

11.1. Стислий опис технології

Прийняту на молокозавод молочну сировину одразу охолоджують до 4–6 °С. Якщо потрібно зберігати молоко понад 8 год, здійснюють його термізацію – підігрівання до 63–65 °С, витримування протягом 15 с і охолодження до 4–6 °С – що дає можливість зберігати молоко до 3 діб.

При виготовленні питного молока для забезпечення потрібного вмісту жиру молочну сировину нормалізують, додаючи знежирене молоко або вершки. Для отримання однорідної структури продукту проводять гомогенізацію молока та очищують його від домішок. Для знищення сторонньої мікрофлори молоко пастеризують. Використовують три режим пастеризації: тривала (протягом 30 хв при 60 °С), короткочасна (протягом 15 с при 74–80 °С) або миттєва (нагрівання до температури 90–95 °С без витримки). Після пастеризації молоко охолоджують у теплообмінниках та розливають у споживчу тару (пляшки, пакети).

Кисломолочні напої виробляють двома основними способами – резервуарним і термостатним. Резервуарний спосіб передбачає сквашування молока та визрівання кисломолочних напоїв у резервуарах з подальшим фасуванням у споживчу тару. Під час термостатного способу сквашування та визрівання відбуваються у спеціальних камерах у споживчій тарі.

Після пастеризації молоко охолоджують до температури заквашування. Окремо готують закваски – спеціально вирощені продукти, приготовані з чистих культур певних молочнокислих бактерій (мезофільних чи термофільних). Закваски слід зберігати у холодильнику. Закваску додають до пастеризованого молока. При температурі 30–35 °С (для мезофільних мікроорганізмів) або 40–45 °С (для термофільних) здійснюється сквашування. Під час сквашування йде коагуляція казеїну та гелеутворення, через що молоко з вільнодисперсного стану (золь)

переходить у зв'язанодисперсний (гель) і у молоці формується згусток – каркас, у порожнинах якого перебуває сироватка. Після закінчення сквашування продукт негайно охолоджують до 6–8 °С, щоб припинити життєдіяльність кисломолочних бактерій. При резервуарному способі охолодження здійснюється у резервуарах, а при термостатному – у холодильних камерах у тарі. Для продуктів змішаного бродіння (кефір, кумис) після сквашування проводять визрівання при 8–10°С для здійснення спиртового бродіння. Готові кисломолочні продукти розливають у пляшки чи пакети і подають на зберігання.

Сир – висококалорійний білковий продукт, харчова цінність якого зумовлена наявністю легкозасвоюваних білків (близько 25 %), жирів (близько 30 %), пептидів, незамінних амінокислот, вуглеводів, солей кальцію та фосфору, вітамінів. Сири отримують шляхом зсідання молочних білків ферментами або кислотами.

Сичужні сири виробляють осадженням білків молока ферментами тваринного чи бактеріального походження. Це – найбільший клас сирів.

Для уникнення розвитку мікрофлори прийняте молоко одразу охолоджують у пластинчастих теплообмінниках до 4–8 °С і резервують для забезпечення безперебійної роботи підприємства. Молоко, що надходить у виробництво, підігрівають до 40–45 °С, очищують і сепарують. За потреби молоко нормалізують за білком. Молоко витримують протягом 10–15 год при температурі 8–10 °С для визрівання – невеликого зростання кислотності зі зміною фізико-хімічних властивостей, з метою полегшення зсідання молока та відділення сироватки.

Всі сири, за винятком швейцарського, виробляють з пастеризованого молока. Найпоширеніший режим пастеризації – при 72–74 °С протягом 15–20 с. Також використовують ультрапастеризацію при температурі 135–145 °С протягом 1–4 с, при цьому властивості молока практично не змінюються, а мікрофлора гине.

Після пастеризації молоко охолоджують у рекупераційному теплообміннику до температури заквашування (30–35 °С). До охолодженого молока у сироробній ванні вносять бактеріальну закваску. Під впливом мікроорганізмів починається *сквашування молока*. Перебіг цього процесу, що залежить від складу мікрофлори заквасок та температурних умов, зумовлює особливості смаку сортів сиру. Для поліпшення зсідання до молока додають розчин хлориду кальцію – іони кальцію зв'язують білки, сприяючи утворенню сирного згустку. Молоко витримують у сироробній ванні протягом певного часу для зсідання, після чого вносять *сичужний фермент* і витримують до отримання щільного згустку. У отриманому згустку слід створити умови для мікробіологічного та ферментативного формування сиру. Згусток *розрізають* дротяними ножами (лірами), внаслідок чого з нього видаляється сироватка. Утворюється сирне зерно, розміром 2–3 мм. Його *вимішують*, додаючи питну воду для більшої рівномірності і регулювання кислотності та *нагрівають* (друге нагрівання). Метою другого нагрівання є прискорення зневоднення сирного зерна. Після нагрівання сирне зерно обсушують (вимішують) протягом 40–60 хв.

Готове сирне зерно подають на *формування*. Сирна маса набуває форми, ущільнюється, з неї видаляється сироватка. Сформовані головки сиру піддають *самопресуванню* під вагою вищих шарів сиру. Його мета – закріплення форми сиру, об'єднання зерен у моноліт, видалення залишків сироватки та формування суцільної

замкненої поверхні. Самопресування триває 10–24 год (для м'яких сирів) або 8–12 год (для твердих сирів). Для більшості твердих сирів самопресування недостатньо, тому використовують *пресування на пресах*.

Після пресування сири надходять на *засолювання*, що має не лише надати певного смаку сиру, а й певною мірою регулювати мікробіологічні процеси у ньому, пригнічувати сторонню мікрофлору. Вміст солі у сирах становить 1,5–8 % (більше у розсільних сирах). Для засолювання використовують розсіл чи соляну гущу. Тривалість засолювання залежить від розмірів сирів, їх форми, вмісту вологи та інших факторів і становить 3–5 діб. Зазвичай для засолювання використовують камери з басейнами, наповненими розсолом. Сири занурюють у басейни в етажерках чи контейнерах. Після виймання з розсолу сири підсушують протягом 2–15 діб на стелажах, що також розміщені у холодильних камерах, і подають на визрівання.

Визрівання – одна з найголовніших технологічних операцій під час вироблення сиру, коли сир набуває потрібного смаку, кольору, аромату, консистенції. Під час визрівання маса сирів зменшується через всихання. Жири у сирі змінюються під впливом ліполітичних ферментів. Лактоза зброджується, причому розвиток молочнокислих бактерій у сирах продовжується доти, доки у них залишилася незброджена лактоза. Після повного зброджування (близько 7 діб) кількість молочнокислих бактерій у сирі поступово зменшується до кінця визрівання. Під час визрівання сирів виділяються гази (аміак, вуглекислий газ, водень). Гази частково виходять назовні, а частково залишаються у сирній масі, розсуваючи її шари та утворюючи “вічка”, що створюють характерний рисунок сиру. Характер “вічок” та рисунка відзначає якість сиру та умови його визрівання.

Тривалість визрівання сирів різна і становить від 10 діб для закусочного сиру до 6–9 місяців для швейцарського. Протягом цього часу температурно-вологісний режим у камерах визрівання підтримують за допомогою систем кондиціонування повітря або природного холоду (печери, підвали).

Виділяють три періоди визрівання. У першому періоді підтримують знижені температури (8–10 °C) для захисту сирів від спучення та підвищену відносну вологість (92–95 %) для уникнення підсихання. Цей період часто суміщають із засолюванням. У другому періоді для інтенсивного розвитку мікрофлори температуру підвищують (12–15 °C), а відносну вологість знижують (90–93 %). У третьому періоді знижують і температуру (10–12 °C), і відносну вологість повітря (87–90 %). У цей період завершуються мікробіологічні процеси у сирі.

Після визрівання сири миють, обсушують, парафінують або вкривають поверхню спеціальними емульсіями чи полімерними плівками та подають на зберігання до холодильних камер.

Кисломолочний сир – цінний білковий продукт. Основна його частина – казеїн – містить усі незамінні амінокислоти. Виготовляють жирний (18 %), напівжирний (9 %) та нежирний кисломолочний сир.

Існують два основні способи вироблення кисломолочного сиру – кислотний та кислотно-сичужний. За кислотного способу коагуляція казеїну відбувається внаслідок молочнокислого бродіння. За кислотно-сичужного способу – під впливом молочної кислоти та сичужного ферменту – тоді сироватка відділяється краще.

Молочну сировину приймають, пастеризують при 78 °С та охолоджують до температури заквашування (28–32 °С), після чого вносять 1–5 % закваски, приготованої на чистих культурах молочнокислого стрептокока. Для кислотного способу сквашування проводять протягом 7–9 годин. Готовий згусток розрізають на кубики з ребром близько 20 мм для поліпшення відділення сироватки, залишають у спокої на 15–20 хв, після чого вміщують у лавсанові чи бязеві мішки для самопресування і подальшого пресування. Після закінчення пресування (досягнення певного вмісту вологи) продукт охолоджують до 8–15 °С і подають на фасування.

У виробництві кисло-сичужним способом після сквашування впродовж 2–3 год до суміші вводять 40%-й розчин хлориду кальцію та сичужний фермент. Процес сквашування з ферментом триває 6–8 год, після чого готовий згусток розрізають, і подальші операції не відрізняються від попереднього способу.

Для тривалого зберігання (до 6 місяців) кисломолочний сир заморожують у блоках чи брикетах при температурі –25...–30 °С для утворення дрібнокристалічної структури та досягнення оборотності процесу заморожування.

Плавлені сири виготовляють з сичужних сирів високої якості, що мають фізичні пошкодження, а також з інших молочних продуктів (кисломолочний сир, вершки тощо). Під час вироблення плавленого сиру насамперед складають сирну суміш. Приготовані сири подрібнюють: спочатку на сирорізці, потім на вовчку і насамкінець на валках. Тонке подрібнення сприяє кращому перемішуванню та плавленню маси. Крім сирів до маси можна додавати молоко, вершки, масло та інші компоненти згідно з рецептурою. До подрібненої маси додають солі-плавители – двоосновний фосфорнокислий натрій, лимоннокислий натрій, пірофосфат натрію та ін. у кількості 0,5–3 % до маси залежно від складу суміші. Їх дія полягає у підвищенні рН сирної маси, внаслідок чого частина білків переходить до розчинного стану і процес плавлення полегшується. Готову сирну масу перед плавленням витримують протягом кількох годин для денатурації білків. Сирну масу плавлять у вакуум-апаратах при 70–85 °С. Сир починає плавитися при 45–50 °С, у процесі подальшого нагрівання сирна маса розріджується. Сири фасують у розплавленому вигляді у полімерну тару чи у алюмінієву фольгу, легко надаючи їм будь-яку форму. Після фасування та пакування сири переносять у холодильну камеру, охолоджують до температури +8...–3 °С і подають на реалізацію чи холодильне зберігання.

Вершкове масло – це молочний продукт, що містить переважно молочний жир, а також фосфати, білки, молочний цукор, вітаміни та воду. Технологія масла передбачає концентрування жиру молока до потрібної масової частки та формування потрібної структури продукту. Для виготовлення масла використовують молоко підвищеної жирності, з якого отримують вершки жирністю 36–45 %. Вершки пастеризують: для першого сорту – при температурі 85–90 °С, для другого сорту – 92–95 °С. Далі можливе виготовлення масла двома способами.

Спосіб збивання вершків. Після пастеризації вершки охолоджують до 1–8 °С. При такій температурі відбувається фізичне визрівання вершків. Для кисловершкового масла вершки сквашують чистими культурами молочнокислих бактерій. Після визрівання вершки збивають, завдяки чому агрегуються жирові кульки – утворюється масляне зерно. Після збивання масляне зерно відділяють від маслянки,

промивають, та на масловиготовнику формують з нього суцільний масляний пласт.

Спосіб перетворення високожирних вершків. Вершки сепарують у дві стадії. Після першої стадії утворюються вершки з масовою часткою жиру 62–64 %, а після другої – високожирні вершки зі щільним розміщенням жирових кульок в усьому об'ємі. На маслоутворювачах здійснюють термомеханічне оброблення вершків (охолодження до 1–8 °С та перемішування), під час якого кристалізуються гліцериди молочного жиру та регулюється структура вершкового масла.

Масло фасують у вигляді монолітів у картонні ящики, вистелені пергаментом, а для роздрібного продажу – фасують масою по 100–250 г у кашировану фольгу і пакують у картонні коробки. Масло заморожують у камерах з примусовою циркуляцією повітря при температурі –25...–35 °С. Ящики масла ставлять так, щоб забезпечити доступ холодного повітря до кожного пакета чи вертикального ряду пакетів. Холодильне оброблення масла вважається закінченим, якщо в моноліті на глибині 6–8 см температура продукту не перевищує –12 °С.

Морозиво – один з найпоширеніших молочних десертів, що має високу харчову та енергетичну цінність. Його виготовляють заморожуванням збитої рідкої суміші, що містить молоко, вершки, цукор, стабілізатори, смакові та ароматичні добавки та інші компоненти.

Морозиво, вироблене на молочній основі, містить всі речовини, необхідні для організму. Основною сировиною для його вироблення є молочні продукти: незбиране та знежирене молоко, вершки, вершкове масло, молочна сироватка, маслянка згущене та сухе молоко, какао, кава. Для окремих сортів використовують закваску.

Для підсолодження морозива та створення ніжної консистенції використовують цукор-пісок, цукрову пудру, цукровий сироп, мед, патоку, кукурудзяний сироп, кристалічну глюкозу, харчові сорбіт і ксиліт. Мета використання курячих яєць або меланжу – підвищення харчової цінності, поліпшення структури та консистенції продукту. Застосування стабілізаторів (харчовий желатин, агар, агароїд, пектини, крохмаль, борошно та ін.) дає змогу поліпшити консистенцію морозива, створити ніжну структуру без великих кристалів льоду, що не руйнується під час зберігання.

Для вироблення морозива використовують різноманітну плодово-ягідну сировину (малину, полуницю, порічки, чорну смородину та ін.), що містить значну кількість органічних кислот, вітамінів, вуглеводів, мінеральних солей. Смакові добавки (какао-порошок, кава, горіхи та ін.) та ароматизатори поліпшують смак і запах морозива, урізноманітнюють його асортимент. Для надання морозиву кольору використовують соки (буряковий, смородиновий та ін.) та харчові барвники.

Сировину для морозива приймають за кількістю та якістю, після чого здійснюють попередню підготовку. Рідкі компоненти фільтрують, сипкі просіюють, сухе молоко перемішують із цукром у співвідношенні 2:1 та розчиняють у воді. Згущене молоко вноситься до суміші без розчинення. Фрукти, ягоди, овочі, баштанні культури сортують, видаляють кісточки, насіння, шкірку, розрізають на шматочки, після чого подрібнюють і перетирають для утворення пюре.

З підготованих компонентів у ваннах з нагрівною оболонкою та мішалкою готують суміш для морозива. Спочатку додають рідкі продукти, нагрівають їх до 35–45 °С, потім згущені, розплавлене вершкове масло, а насамкінець – сухі

компоненти, яйцепродукти та стабілізатори. Складання суміші – тривалий процес, що ускладнюється різноманітністю рецептур і сировини. Тому для спрощення часто застосовують попередньо приготовані сухі суміші для морозива. На поточкових лініях, де використовують сухі суміші, процес складання суміші механізований. Компоненти переводять у рідкий стан (розчиняють чи розтоплюють), дотримуючись нормативних вмістів сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ), жиру та цукру.

Складену суміш фільтрують, після чого пастеризують при 68 °С протягом 30 хв для знищення патогенної мікрофлори. Після пастеризації суміш гомогенізують при температурі не нижче 63 °С для підвищення в'язкості, полегшення подальшого збивання і поліпшення якості кінцевого продукту. Гомогенізовану суміш охолоджують до 2–6 °С і подають на визрівання, впродовж якого твердне близько 50 % молочного жиру, набухають білки молока та стабілізатора, зростає в'язкість суміші.

Фризрування – основна операція у технологічному процесі виготовлення морозива. У фризері відбувається заморожування суміші та її збивання (насичення повітряними бульбашками). Охолоджена суміш перетворюється на м'яке морозиво – кремоподібну, частково заморожену масу, насичену повітряними бульбашками, що рівномірно розподіляються у суміші, збільшуючи її об'єм у 1,5–2 рази. Заморожена суміш після фризрування має температуру –3...–5 °С.

М'яке морозиво після фризера може одразу надходити у продаж (наприклад у закладах громадського харчування). Але продукт, призначений для зберігання та перевезень, має пройти операції фасування та загартовування. Морозиво фасують на автоматичних поточкових лініях у стаканчики, конуси, формують у вигляді брикетів чи ескімо (на спеціальних ескімогенераторах). На сучасних лініях використовують плівкові пакувальні матеріали, фольгований або ламінований папір, що дає змогу герметично запакувати морозиво, захистити його від окиснення. За потреби морозиво глазують – заморожені брикети на короткий час занурюють у розплав шоколадної чи іншої глазури і на їх поверхні швидко утворюється глазурна кірка. Для виморожування більшої частки води з суміші морозиво загартовують у камерах чи морозильних апаратах при температурі –30...–45 °С, завдяки чому воно стає твердішим, краще переносить транспортування та зберігання.

Готове морозиво зберігають у камерах при температурі не вище –18 °С та відносній вологості 85–90 %. Граничні терміни зберігання за таких умов становлять 1–3 місяці. Транспортування здійснюється при температурі не вище –12 °С. Для транспортування та продажу морозива інколи використовують “сухий лід”, який вміщують у ящики, кузови, ізотермічні прилавки.

11.2. Охолодження і заморожування молока та молочних продуктів

Для збереження первинних властивостей і подовження бактеріцидної фази молоко одразу після видоювання та фільтрування швидко (впродовж кількох хвилин) охолоджують до 2–10 °С в теплообмінниках з використанням холодоносіїв (води, розсолу та ін.). Якщо молоко з ферм після кожного доїння одразу відправляють на завод, то низькотемпературне охолодження проводити недоцільно. Тоді температуру охолодження обирають залежно від проміжку часу з моменту кінця охо-

лодження молока на фермі до моменту доставки його на завод. Якщо він не перевищує 6 год, то молоко охолоджують до 10 °С, якщо 12 – до 8, а якщо 24 год – до 5 °С.

Молоко та рідкі молочні продукти охолоджують у закритих пластинчастих або трубчастих теплообмінниках-охолодниках, при цьому використовується льодяна вода (0 °С) чи розсіл (–5 °С), залежно від потрібної кінцевої температури охолодження. Також використовують зрошувальні охолодники відкритого типу, у яких молоко стікає по зовнішній поверхні охолоджуваних труб (верхня секція охолоджується водою, а нижня – розсолом). Упаковані молочні продукти охолоджують у повітряному середовищі при температурі 0 °С і за швидкості руху повітря до 1 м/с.

Для охолодження кисломолочного сиру та в'язких молочних продуктів використовують трубчасті охолодники, чи барабани, обладнані розсільними оболонками, у яких продукт переміщується за допомогою шнека.

З молочних продуктів найчастіше заморожують масло, сир, призначений для перероблення, деякі кисломолочні продукти, інколи молоко.

11.3. Зберігання молочних продуктів

Молоко та молочні продукти у пляшках і пакетах зберігають при температурі близько 0 °С за відносної вологості повітря 80–85 %. Пастеризоване молоко зберігають 3–5 діб, стерилізоване – до 45 діб, кисломолочну продукцію – 5–14 діб.

Сметану, упаковану в діжки, фляги та алюмінієві бідони, зберігають при температурі 0 ... –2 °С за відносної вологості повітря 80–85 % – до 4 місяців. Термін зберігання *згущених консервів* у герметичній тарі при температурі 0–10 °С і за відносної вологості повітря 85 % – 12 місяців від дати випуску, у негерметичній тарі – 8, какао та кави зі згущеним молоком і цукром – 6 місяців.

Найскладнішим є зберігання *сирів*. Готові сири зберігають у камерах холодильників із батареєю чи повітряною системою охолодження. В першому випадку циркуляція повітря природна, а у камерах з повітряною системою охолодження підтримують швидкість руху повітря до 0,4 м/с. Сири, за винятком розсільних, зберігають при температурі –4...0 °С і за відносної вологості повітря 85–90 %. до 12 місяців. МІХ рекомендує для зберігання твердих сичужних сирів температуру 2 °С, сирів типу голландського – 0–5 °С за відносної вологості повітря 90 %. За іншими рекомендаціями [23] кращою є температура зберігання, близька до криоскопічної (–3 °С), при якій сповільнюються мікробіологічні та біохімічні процеси, а структура сиру добре зберігається. При цьому втрати маси знижуються в 2–3 рази, а термін зберігання зростає до 5–6 місяців.

Сири у тарі (ящиках, барабанах) складають партіями у штабелі, між рядами прокладають рейки або складають у пакети на піддонах. Між штабелями ящиків чи барабанів залишають прохід завширшки 0,5 м. Швейцарський сир зберігають у стопах заввишки до п'яти кругів, залежно від маси, кожен стопу кладуть на дерев'яний круг чи піддон; розсільні сири та бринзу – в діжках з розсолом, які розміщують на решітках чи рейках трьома ярусами по висоті. Розсільні сири в тарі не рекомендується зберігати в одній камері з іншими видами сирів.

Під час зберігання товарознавці (технологи) холодильника контролюють температурно-вологісний режим: температуру повітря в камері – не менше як двічі на

добу, а відносну вологість – один раз на добу. Коливання температури допускається лише під час завантаження і вивантаження продукції. Ретельно контролюють якість сирів (смак, запах, консистенцію, стан поверхні). Сири, на яких помічені пліснява, підпірвання кірки, порушення покриття тощо, піддають, товарному обробленню (протирання, зачищення, парафінування), а за потреби – миють і висушують.

Морозиво всіх видів (крім м'якого) зберігають при температурі $-22\ldots-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривале зберігання (понад 2 місяці) доцільно проводити при температурі $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Короткострокове зберігання дає можливість проводити при температурах не вище як $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якість морозива під час зберігання значно залежить від коливань температурного поля камери, що не повинні перевищувати $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Терміни зберігання *вершкового масла* залежать від його виду, способу вироблення, упаковки, умов зберігання. Масло вершкове зберігають складськими партіями (марками). Кожну партію складають у окремий штабель за видами і сортами. Масло вершкове, розфасоване у вигляді брусків, перед закладанням на зберігання заморожують при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж 2 діб. Терміни зберігання такого масла при температурі $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ не повинні перевищувати 5 діб (упакованого в пергамент) чи 15 діб (упакованого в кашировану фольгу). Температура фасованого масла під час відпускання з холодильника не повинна перевищувати $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Відносну вологість повітря в камері зберігання масла на холодильнику підтримують у межах 85–90 % і контролюють один раз на декаду, а температуру повітря в камері вимірюють двічі на добу. Забороняється сумісне зберігання масла з рибою і рибопродуктами, ковбасними виробами і копченостями, сирами сичужними всіх видів і ковбасним копченим сиром, фруктами і овочами.

Масло топлене в діжках і флягах зберігають при температурі від $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче впродовж таких термінів: при температурі повітря від 6 до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 3 місяці, від $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче – 6 місяців.

Запитання для самоперевірки

1. Як і навіщо охолоджують молоко та молочні продукти на фермах та молокозаводах?
2. Як виробляють кисломолочні напої? Що таке закваска? За яких умов здійснюється сквашування? Навіщо потрібно швидко охолодити напій після сквашування?
3. Опишіть процес виробництва сичужних сирів. Для чого необхідне визрівання сирів? За яких температурно-вологісних умов воно відбувається?
4. Як виготовляють кисломолочний сир? У чому відмінність сичужних та кисломолочних сирів?
5. З якої сировини виготовляють плавлені сири? Для чого необхідні солі-плавители? Як охолоджують сири після плавлення?
6. Як виготовляють та зберігають вершкове масло?
7. На які види поділяється морозиво? Опишіть технологічну послідовність його вироблення. Для чого і у який спосіб здійснюють загартовування морозива? Як зберігають і транспортують морозиво?

12. ХОЛОДИЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ

12.1. Попереднє охолодження плодів та овочів

Для плодів та овочів охолодження і зберігання у охолоджену стані – найнадійніший і найпоширеніший спосіб консервування. Воно ґрунтується на принципі *анабіозу* (підтримання життєдіяльності та природного імунітету за максимального уповільнення біохімічних, мікробіологічних і фізико-хімічних процесів). Для цього температуру продукту знижують до межі фізіологічної стійкості, що залежить від видових (генетичних) особливостей кожного організму (для плодоовочевої продукції від -2 до 16°C). Режим зберігання кожного виду та сорту встановлюють на підставі вивчення його властивостей, тривалості зберігання, виду упаковки та ін. За негайної реалізації продукції (поле–прилавок) потреби в холодильному обробленні немає.

Попереднє охолодження плодів та овочів – це процес швидкого зниження їх температури від початкової (після збирання врожаю) до потрібної для подальших технологічних операцій (транспортування, короткострокового чи тривалого зберігання). Воно позитивно впливає на фактори, що визначають збереження продукції: знижує інтенсивність дихання плодів та овочів і пов'язаних з ним біохімічних процесів, запобігає значним втратам маси і розвитку фітопатогенних мікроорганізмів. Чим швидше знизиться температура плодів та овочів після збирання, тим тривалішим буде період зберігання їх у холодильнику і вища якість. Охолодження одразу після збирання забезпечує збереження харчової цінності продукту, його смакових якостей, товарного вигляду, підвищує рентабельність транспортування, подальшого зберігання і реалізації продукції. Швидко охолоджені плоди та овочі довше зберігають стійкість до збудників хвороб, розвиток самих збудників псування (бактерій, пліснявих грибів, дріжджів) за швидкого охолодження значно сповільнюється. Внаслідок цього скорочуються втрати плодів та овочів від перестигання, зменшення маси, фізіологічних захворювань і псування.

Перевагою попереднього охолодження також є можливість одночасно заповнити весь об'єм камери зберігання і створити найбільш оптимальний і стабільний температурний режим вже на початку зберігання. Під час завантаження плодів на зберігання окремими партіями без попереднього охолодження високе навантаження на компресорне холодильне обладнання зберігається впродовж усього періоду завантаження (10 діб і більше) і продовжується впродовж 3 діб після нього. Тривале перебування продукції при температурі, вищій за оптимальну, погіршує її якість, а довантаження неоохолоджених партій порушує створений температурний режим, спричиняє появу конденсату на поверхні раніше завантаженої і вже охолодженої продукції, збільшує її псування і втрати маси. У розвинених країнах попередньому охолодженню підлягає понад 50 % усієї плодоовочевої продукції.

Ефективність попереднього охолодження продуктів значною мірою визначається його способом і режимом. Використовують різні способи охолодження плодів: у потоці повітря, гідроохолодження льодяною водою методом зрошення чи занурення, снігування, вакуумне охолодження в спеціальних вакуумних охолодниках, комбіноване охолодження.

Повітряне охолодження плодоовочевої продукції здійснюють:

у звичайних камерах холодильного зберігання за середньої швидкості руху повітря 1–1,5 м/с і помірної кратності циркуляції 30–40 об'ємів/год;

у тунельних камерах попереднього охолодження чи камерах іншого типу за порівняно великих швидкостей руху повітря (3–4 м/с) і підвищеної кратності його циркуляції (60–100 об'ємів/год);

у апаратах інтенсивного повітряного охолодження за високої швидкості руху (до 5 м/с) і кратності його циркуляції (до 150 об'ємів/год).

Важливим елементом технології попереднього охолодження є припустима тривалість часу між збиранням продукції і початком її охолодження. Більшість ягід, плодів та овочів слід охолоджувати упродовж 1–4 год після збирання. Темп охолодження істотно впливає на втрати маси і товарну якість – після швидкого охолодження продукція зберігається краще.

За відсутності спеціальних камер попереднього охолодження процес здійснюють у камерах діючих холодильників. Упродовж 1–2 діб після збирання температуру продукції, залежно від виду, доводять до $-1...1^{\circ}\text{C}$. Шляхом інтенсифікації можна скоротити час повітряного охолодження до 16–80 хв, а гідроохолодження ще більше прискорює цей процес.

Розроблені режими гідроохолодження: для черешні – $1-2^{\circ}\text{C}$, абрикосів – $2-4^{\circ}\text{C}$, сливи – $3-6^{\circ}\text{C}$. Оброблення проводиться методами занурення і зрошення. У останньому випадку у воду, як правило, додають антисептичні речовини (беноміл, сантоквін тощо) для уникнення мікробіологічного обсіменіння всієї продукції.

Для насінневих плодів, винограду, цитрусових і деяких інших плодів, у яких інтенсивність дихання нижча, а стійкість до мікроорганізмів вища, попереднє охолодження можна сповільнити. При цьому важливе значення має ступінь стиглості продукції. Так, стиглі яблука залежно від сортових і інших особливостей охолоджують до $0-5^{\circ}\text{C}$, а нестигли – до $7-9^{\circ}\text{C}$ з подальшим зниженням температури кожні 15–20 діб на $1-2^{\circ}\text{C}$.

Виноград попередньо охолоджують повітрям до температури $2-8^{\circ}\text{C}$ з подальшим доохолодженням у камері зберігання. При цьому втрати від псування знижуються в кілька разів і зростає вихід стандартної продукції.

Попереднє охолодження овочів застосовують як перед транспортуванням, так і перед зберіганням. Для більшості овочів потрібне швидке охолодження, бо під час дихання вони виділяють значну кількість теплоти. Тривалість охолодження, залежно від його способу, становить від кількох хвилин до кількох годин чи діб.

Овочі охолоджують перед короткостроковим чи тривалим зберіганням у спеціалізованих холодильних камерах чи тунелях до температури $2-15^{\circ}\text{C}$ згідно з їх особливостями. Тривалість охолодження становить від 3–5 до 80–100 хв і більше. Швидке зниження температури сприяє кращому збереженню овочів.

Режими попереднього охолодження овочів повітрям залежать від їх стиглості і призначення. Нестиглі томати рекомендують охолоджувати повільно – впродовж 96 год до температури 8°C , а під час подальшого зберігання періодично (2–3 рази) підвищувати температуру до 20°C (щоразу впродовж 3 діб), що забезпечує рівне досягання томатів і поліпшує їх якість. Для стиглих плодів ефективно швидке

зниження температури до 0 °С, тоді втрати сухих речовин знижуються втричі і збільшується термін зберігання на 4–7 діб.

На підставі досвіду перевезень швидкопсувних продуктів МІХ розробив рекомендації щодо температурних режимів овочів, завантажуваних до холодильного транспорту. Так, огірки перед перевезенням охолоджують до 10–15 °С, перець – 7–10, дині – 4–10, капусту – 0–8, зелень – до 0–10 °С.

Для оптимізації процесу попереднього охолодження регулюють вологість повітря. Підтримання її на рівні 85–90 % дає змогу знизити втрати маси і забезпечити тривале зберігання овочів. Підвищення вологості до 98–100 % у період охолодження і зберігання позитивно впливає на збережуваність моркви, ріпки, брукви, буряків, пастернаку, цвітної та брюссельської капусти та ін. При цьому знижуються втрати маси, зберігається тургор тканин. Стабільне підтримання високої відносної вологості за стабільного температурного режиму виключає підморожування і випадання конденсату на поверхні овочів і дає змогу істотно подовжити період їх зберігання, а вкупі із МГС дає змогу на 10–30 % збільшити вихід стандартної продукції. Підтримання високої відносної вологості особливо важливе під час охолодження і зберігання зелені і листових овочів. Для збереження овочів при короткострокових перевезеннях ефективними є снігування і пересипання лускоподібним льодом. Це дає змогу за відсутності досконаліших засобів підтримувати високу вологість і сприяє швидкому охолодженню продукції.

З метою скорочення втрат маси і швидшого охолодження (3–30 хв) для деяких овочів (морква, капуста тощо) проводять *гідроохолодження* до температури 0–5 °С. Його тривалість залежить від виду продукції, початкової і кінцевої температур і методу гідроохолодження. Найширше застосовують метод зрошення, коли продукція в тарі рухається по конвеєру в тунелі і зрошується холодною водою під тиском через розпилювальні форсунки. Для запобігання розвитку фітопатогенних мікроорганізмів в умовах підвищеної вологості до води додають антисептики.

Ефективним для охолодження грибів, листової зелені, салату є *вакуум-випарювальний метод*. Він полягає в тому, що в умовах розрідження (для овочів – 798–930 Па) відбуваються закипання і випаровування вологи з поверхні (частково з клітин) овочів і за рахунок виділення прихованої теплоти випаровування продукт швидко охолоджується (по всьому об'єму за кілька хвилин). Перевагою методу є також його придатність і для упакованої продукції, недоліком – порівняно велика втрата маси продукту (1,5–2,5 %). Для скорочення втрат маси продукту може застосовуватися гідровакуумне охолодження з розпиленням вологи.

Використання вакуумного оброблення обмежується тим, що видаляється не лише водяна пара, а й гази, що впливає на хід біохімічних і фізіологічних процесів у тканинах. При цьому м'яке вакуумування сприяє гальмуванню досягання, бо воно пов'язане лише з поліпшенням газообміну. Різке багаторазове вакуумування, навпаки, прискорює біохімічні процеси, бо присутнє різке підвищення тиску (скидання вакууму), що спричинює мікротравмування тканин. За комбінованого охолодження плоди можуть спочатку охолоджувати вакуумуванням до температури 10–15 °С, а потім доохолоджувати повітрям у холодильній камері зберігання.

12.2. Оптимальні режими зберігання плодів та овочів

Режим зберігання охолоджених продуктів рослинного походження має створити умови для підтримання їх природного імунітету, за максимального зниження інтенсивності біохімічних процесів і пригнічення розвитку мікрофлори. Під час зберігання плодів та овочів слід контролювати їх якість та дотримання технологічного режиму зберігання. На сучасних холодильниках режим зберігання (температура, відносна вологість повітря та швидкість його руху) автоматично контролюється та реєструється на базі комп'ютеризованих систем упродовж усього терміну зберігання.

Для підтримання оптимального температурно-вологісного режиму, збереження якості продукції і зменшення витрат електроенергії рекомендують: максимально обмежувати теплонадходження до камер, скорочувати терміни їх завантаження, підтримувати рівномірність температурного поля; вентилювати камери влітку – вночі, взимку – вдень; використовувати тару з рівноважною вологістю, що відповідає параметрам повітря в камері; зберігати плоди та овочі зі слабкою водоутримувальною здатністю в камерах меншої місткості; камери тривалого зберігання завантажувати повністю; екранувати штабелі в частково завантаженій камері чи перевантажувати продукцію до камери меншої місткості; дотримуватися правил зберігання різних груп плодів та овочів, не припускаючи сумісного зберігання продукції, що вимагає різних температурно-вологісних режимів.

Деякі плоди та овочі (груші, томати та ін.) в процесі зберігання не досягають, тому за кілька діб до реалізації їх переносять для досягання в приміщення з посиленою циркуляцією повітря (при температурі 18–20 °С і за відносної вологості 90 %). Перебирати, сортувати, перетарювати плоди та овочі з санітарних міркувань теж доцільно в спеціальних приміщеннях.

Плоди та овочі, що зберігають у холодильниках, розташованих у місцях їх збирання, спрямовують безпосередньо на реалізацію чи на розподільні холодильники у місцях споживання. При цьому важливо під час перевантажень і транспортування дотримуватися безперервності холодильного ланцюга.

12.3. Допоміжні засоби для зберігання плодів та овочів

Для поліпшення процесу зберігання охолодженої плодоовочевої продукції широко використовуються допоміжні засоби.

Для зберігання плодів у регульованих газових середовищах (РГС) використовують газоізовані камери, де створене і автоматично підтримується середовище з певною концентрацією вуглекислого газу та кисню, при певній температурі. Газовий склад середовища підбирають так, щоб зберегти дихальний газообмін у плодах, але зменшити його інтенсивність. Завдяки значному зниженню інтенсивності дихання фруктів та овочів у камерах із РГС температура середовища у них може бути на 1–2 °С вищою, ніж у звичайних холодильних камерах. Це дає можливість запобігти виникненню захворювань плодів, викликаних холодом, і разом з тим не призводить до більш раннього перестигання плодів та ураження їх інфекційними хворобами. Вища температура у камерах також дає змогу зменшити витрати електроенергії на вироблення штучного холоду.

У практиці зберігання плодів у камерах з РГС використовують газові суміші з різною концентрацією кисню, вуглекислого газу й азоту. В усіх випадках їхньою основою є азот, концентрація якого становить 79–98 %.

У *нормальних* сумішах сумарна концентрація кисню і вуглекислого газу дорівнює сумарній концентрації кисню і вуглекислого газу в повітрі, тобто близько 21 %. У найбільш поширених нормальних сумішах міститься 5–10 % вуглекислого газу, 16–11 % кисню і 79 % азоту. Сповільнення життєдіяльності у нормальних газових сумішах ґрунтується на високій концентрації вуглекислого газу, а зниження концентрації кисню істотно не впливає на гальмування біохімічних процесів.

Більш поширені *субнормальні* суміші, що містять 3–5 % кисню, 0–5 % вуглекислого газу і 90–97 % азоту. Вони затримують досягання плодів у результаті одночасного значного збіднення середовища киснем і збагачення його вуглекислим газом і сприяють кращому збереженню кольору, твердості і смакових якостей (особливо кислотності) плодів. Субнормальні суміші використовують, як правило, при температурі трохи вище як 0 °С і за відносної вологості 90–95 %. При нижчій температурі в умовах підвищеної вологості збільшується чутливість плодів до вуглекислого газу. Існують гранично припустимі значення концентрацій кисню і вуглекислого газу (рис. 12), зумовлені біохімічними особливостями сортів плодів.

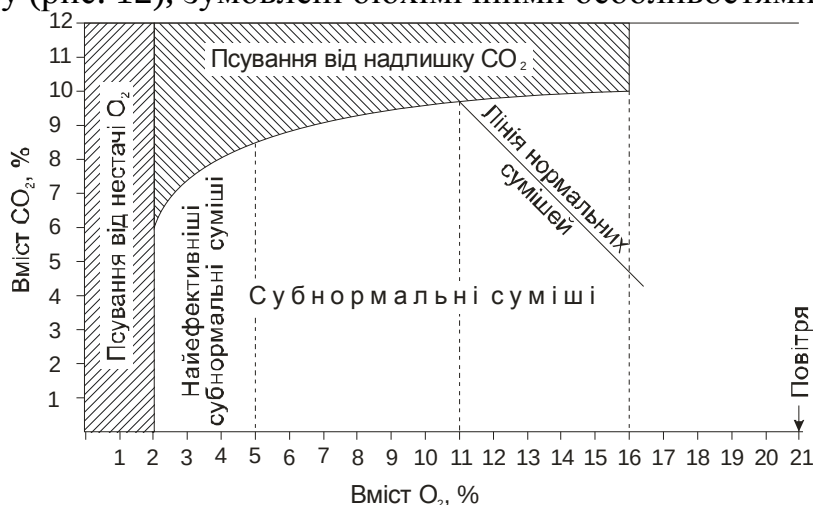


Рис. 12. Зони використання регульованих газових сумішей (РГС)

Максимальне зниження інтенсивності дихання фруктів та овочів досягається, коли в середовищі міститься 5 % CO_2 і 3 % O_2 . У цьому разі інтенсивність дихання плодів знижується в 1,06–1,26 разу порівняно зі зберіганням у субнормальних газових середовищах іншого складу й у 1,18–1,68 разу – зі зберіганням у нормальних газових середовищах при таких самих температурах. За даними ISO таке середовище рекомендується для 75 % відомих сортів фруктів та овочів:

Єдині розрахункові параметри РГС (ISO)

Температура, °С	0–4* ($\pm 0,5$)
Відносна вологість, %	90–95* ($\pm 1-2$)
Вміст O_2 , %	3
Вміст CO_2 , %	5
Вміст N_2 , %	92

* Залежно від виду і сорту плодів і пори року

Останнім часом проводяться дослідження зі зберігання окремих сортів плодів у РГС іншого складу. Газові суміші з низьким вмістом кисню – LO (*Low Oxygen*) містять 2–2,5 % O₂ та 1–3 % CO₂ (решта – азот). Газові суміші з наднизьким вмістом кисню – ULO (*Ultra Low Oxygen*) містять до 0,9–1,5 % O₂ та близько 0–2 % CO₂ (решта – азот). Проте у таких середовищах можуть зберігатися не всі сорти фруктів.

Жорсткіші вимоги щодо коливань температури і вологості в порівнянні зі звичайними холодильними камерами пов'язані з необхідністю запобігання різким коливанням тиску в камерах із РГС і конденсації вологи на поверхні плодів.

Існують різні технології створення РГС:

1. Технологія швидкого зниження концентрації кисню RCA (*Rapid Controlled Atmosphere*). З моменту завантаження камери концентрація кисню знижується від 21 % до 2,5–3 % упродовж 1–3 діб

2. Технологія початкового шокowego зниження рівня кисню ILOS (*Initial Low Oxygen Stress*) – рівень кисню знижується від 21 % до 5 % за 8–10 годин.

3. Зниження рівня етилену LECA (*Low Ethylene Controlled Atmosphere*). Передбачене зниження рівня етилену в камері за допомогою каталітичного конвертера етилену. Ця технологія досить широко використовується для зберігання яблук, груш, ківі, цитрусових.

Під час проектування камер з РГС слід коректно обирати холодильне обладнання (схема охолодження, холодопродуктивність, поверхня повітроохолодників) для забезпечення потрібного температурно-вологісного режиму. Огорожі (стіни, стелю, підлогу) таких камер вкривають газонепроникними матеріалами. Крім того, герметизують стики панелей, двері, введення інженерних комунікацій тощо.

Зберігання продуктів рослинного походження у камерах із РГС у порівнянні зі зберіганням у повітрі дає змогу збільшити терміни зберігання в 1,5–2 рази, скоротити природні втрати у 3–5 разів, підвищити температуру зберігання на 1–2°C, зберегти високу товарну якість, корисні і поживні речовини плодів, знизити ураження плодів хворобами і навіть усунути окремі хвороби під час зберігання, що часто призводять до значних втрат.

Недоліки застосування РГС: додаткова витрата коштів, викликана потребою у герметизації камер, газогенераторі та газоаналізуючій автоматиці та втрати газу від проміжних розгерметизацій під час завантаження та вивантаження частини плодів. Для зниження втрат доцільно завантажувати чи вивантажувати одразу всю камеру.

Для швидкого створення та підтримання складу газового середовища використовують газогенерувальне обладнання. Умовно його можна поділити на три групи: газогенератори спалювання, скрубери та мембранно-дифузійні установки.

У газогенераторах спалювання формування газової суміші (зростання вмісту CO₂ та зниження кількості O₂) відбувається шляхом спалювання палива у повітрі чи кисневмісній газовій суміші. У скруберах здійснюється сорбування з газової суміші небажаних компонентів (наприклад O₂ з повітря чи надлишку CO₂ з газової суміші). Часто ці два способи комбінують.

Для створення та підтримання РГС застосовують адсорбери O₂ і CO₂, генератори азоту й кисню, каталітичні конвертери етилену, а для зберігання

винограду та цитрусових – абсорбери сірчистого ангідриду SO_2 .

Останніми роками в Україні і за кордоном проводяться роботи зі створення і впровадження для холодильних камер із РГС установок регулювання газових середовищ, що не споживають паливо. Створені оригінальні газообмінні і газороздільні установки дифузійного типу, що використовують принцип вибіркової дифузії газів через мембранні апарати. У порівнянні зі скруберами така система регулювання газового середовища холодильних камер характеризується компактністю, простотою монтажу й обслуговування, малою витратою енергії, великим терміном служби і можливістю одночасного видалення з камер шкідливих ароматичних речовин і етилену без додаткових пристроїв.

Саморегульовані газові середовища, на відміну від РГС, створюються не в камері, а в герметичній упаковці з газоселективними мембранами, виготовленими з силіконових каучуків, або в упаковці з газопроникної плівки. Внаслідок дихання плодів склад середовища в замкнутій системі змінюється: вміст кисню зменшується, а вуглекислого газу зростає. Поступово в такій системі створюється модифіковане газове середовище зі зниженою концентрацією кисню і підвищеною концентрацією CO_2 . Мембрани чи плівки мають не допустити зниження концентрації кисню нижче 3 %, підвищення концентрації CO_2 понад 5–10 % і забезпечити видалення етилену, аміаку та інших продуктів дихання. Газопроникність і селективність мембрани залежать від хімічної природи та фізичної структури полімеру, наявності наповнювача і його типу, товщини плівки, способу її отримання тощо.

Основними матеріалами для упакування в СГС є полімерні плівки: поліпропілен (PP), поліакрилонітрил (PAN), полівінілхлорид (PVC) та полівініліденхлорид (саран, PVDC). Часто використовуються багатошарові матеріали на базі поліетилену з етиленвінілацетатом (EVA) або PVDC, а також металізовані плівки, що містять шар алюмінію.

Регулювати склад газового середовища всередині упаковки можна добором матеріалу відповідної проникності та товщини. Іншим способом регулювання є використання силіконових мембран з площею, розрахованою за потрібною величиною проникності. Така мембрана має вигляд віконця в плівковій упаковці або у металевому кожусі. Через неї надходить потрібна для дихання продукту кількість кисню, а назовні виходить надлишок вуглекислого газу та інші продукти дихання.

Технологія використання СГС досить проста і полягає в упакуванні продукту в вакуумній камері з подальшим заповненням внутрішнього об'єму газовою сумішшю потрібного складу для прискорення створення потрібного середовища. При цьому на всіх етапах здійснюють ретельний санітарний контроль продуктів, пакувальних матеріалів та обладнання.

Під час транспортування і короткострокового зберігання ефективним є спосіб зниження тиску. Разом із загальним знизиться і парціальний тиск кисню в середовищі і у міжтканинному просторі плоду, отже інтенсивність його дихання зменшиться. Перевага такого способу: основне теплонадходження для рефрижераторів – повітря від вентиляції – зводиться до мінімуму. Термін зберігання продукції за зниженого тиску зростає у 3–10 разів. Недоліки способу: можливість конденсації вологи, значна вартість обладнання та герметизації рефрижератора.

12.4. Заморожування продуктів рослинного походження

Заморожування плодовоовочевої продукції дає змогу розширити сезон її споживання, наситити раціон життєво необхідними вітамінами, мінеральними речовинами, скоротити час приготування їжі, значно поліпшити її санітарно-гігієнічні показники. Заморожені плоди, овочі та ягоди є гарною сировиною для промислового вироблення багатьох продуктів (фруктові та молочні креми, йогурти, морозиво, кондитерські вироби та ін.). Значну частку концентратів фруктових соків у світі тепер отримують методом виморожування (кріоконцентрування).

Придатність рослинної сировини для заморожування, а також якість замороженої продукції визначаються насамперед генетичними особливостями сортів і видів, ступенем досягання, умовами вегетації, збирання, транспортування та попереднього оброблення. Для отримання високоякісної продукції слід відбирати сировину відповідного ступеня стиглості, придатну для заморожування. Заморожування слід проводити до настання стадії біологічної стиглості, бо плоди, зібрані в стадії повної стиглості, під час розморожування часто розм'якшуються. Для збереження якості продукції термін від її збирання до заморожування має становити 1...5 годин, у іншому разі погіршується консистенція м'якоті після розморожування. Якщо неможливо переробити продукцію одразу після збирання врожаю, свіжі плоди і ягоди слід негайно охолодити. Важливим показником придатності рослинної сировини для заморожування є її вологоутримувальна здатність, що визначається видовими властивостями, умовами оброблення, заморожування і зберігання. Вода в тканинах утримується завдяки хімічним зв'язкам з протеїнами, полісахаридами, пектинами, особливостям будови клітинних стінок.

Основними етапами підготовки рослинної сировини до заморожування є *інспекція, сортування, калібрування*. В процесі цих операцій видаляють сторонні домішки, перестиглі, недостиглі, хворі, пошкоджені під час транспортування плоди, ягоди, овочі. Для кожної заморожуваної партії відбирають продукцію однакового розміру, одного ступеня стиглості і забарвлення. Відсортовану сировину *миють* проточною водою, причому такі ягоди, як суниця, малина тощо, мають перебувати у воді протягом мінімального часу. Після миття проводять повторні сортування і калібрування, що забезпечує однорідність партій продукту. Перед заморожуванням овочі ріжуть, бланшують (крім томатів, баклажанів, перцю) для руйнування окиснювальних ферментів, що спричиняють потемніння продукту.

Основними критеріями у виборі способу заморожування є швидкість і економічність проведення процесу. Підготовану сировину підсушують і заморожують розсипом чи в тарі (картонній, полімерній, скляній, металевій). Для уникнення розтріскування плоди, ягоди, виноград під час заморожування попередньо охолоджують до 0–1 °С, а потім швидко заморожують при температурі –35 °С до заданої кінцевої температури в центрі продукту (–18...–25 °С). Плоди та овочі, заморожені розсипом, одразу фасують, переважно в герметичні полімерні пакети.

Цілі великі плоди заморожують у тунельних апаратах, неупаковані дрібні чи нарізані плоди та овочі діаметром до 40 мм чи завдовжки до 125 мм – у флюїдизаційних морозильних апаратах, а для подальшого сублімаційного висушування – у

вакуумі. Для заморожування плодів також використовують заморожування у скраплених газах, у киплячому холодоагенті та інші способи.

Заморожують плоди без цукру, з цукром і в цукровому сиропі. Цукор захищає їх від окиснювальної дії повітря, гальмує ферментативні і мікробіологічні процеси, сприяє збереженню смаку і аромату. Крім того, розчини цукру мають кріопротекторні властивості, що зменшує пошкодження клітин кристалами льоду.

Із морозених ягід, нарізаних овочів і фруктів, готують різні суміші-напівфабрикати. У Європі заморожують картоплю, зелений горошок, кукурудзу (зерно), шпинат, стручкову квасоллю, чорну смородину, суницю тощо.

На заморожені вироби з *картоплі* (картопляне пюре, котлети, картопля-фрі та ін) в окремих країнах припадає понад 30 % споживання. Доцільно переробляти свіжу картоплю, коли її склад найповноцінніший, причому збережуваність вітаміну С після заморожування значно вища, ніж за всіх інших способів перероблення і зберігання. Для отримання якісного продукту гарнірну картоплю заморожують у швидкоморозильних апаратах при температурі $-35...-40^{\circ}\text{C}$ впродовж 6–12 хв. до температури в центрі продукту -15°C . Згодом температура по всій масі вирівнюється. Продукт зберігають при -18°C впродовж 6 місяців.

Зелений горошок займає друге місце (після картоплі) у світовому виробленні заморожених продуктів. У деяких країнах його частка становить 10–40 % усіх заморожуваних овочів – окремо і у вигляді компонента сумішей. Заморожують зерна зеленого горошку молочної стиглості. Після їх споліскування і охолодження до 7°C (холодна вода, подрібнений лід) кількість мікроорганізмів зменшується на 50–80 %. Перед заморожуванням горошок сортують за розміром і кольором, бланшують. Після бланшування горошок швидко охолоджують у каскадних протічійних холодильних установках, а потім додатково шляхом зрошення водою на перфорованому конвеєрі, де контролюється якість продукту і відділяється зайва вода. Після цього горошок подають на заморожування у флюїдизаційні апарати. Заморожений продукт розділяють на вібраційних чи барабанних сортувальних машинах на декілька фракцій і упаковують кожну окремо в контейнери чи мішки.

Серед інших овочів найчастіше заморожують стручкову квасоллю, цукрову кукурудзу, капусту, моркву, солодкий перець, цибулю, гарбуз, шпинат, спаржу та ін. Із заморожених овочів в охолоджуваних приміщеннях з температурою близько 5°C готують *овочеві суміші*.

У групі плодів і ягід найбільшим попитом користуються заморожені кісточкові: вишня, черешня, абрикоси, персики, слива та ін.; серед ягід – суниця, полуниця, чорниця, чорна і червона смородина та ін. Плоди, призначені для заморожування, мають бути стиглими, здоровими, відповідного кольору, свіжими, чистими, одного сорту, не ураженими хворобами та шкідниками, без сторонніх запаху і присмаку та механічних пошкоджень.

Суниця займає перше місце в світі серед заморожених ягід; у деяких країнах заморожують понад 50 % її річного вироблення. Після сортування за якістю суницю найчастіше заморожують у флюїдизаційному апараті чи на нейлонових ситах у стрічковому морозильному апараті. Після заморожування її сортують за розміром і негайно пакують в мішечки з синтетичної плівки. Швидкість заморожування і

розморожування суниці – вирішальні фактори, що зумовлюють консистенцію продукту та втрати соку після розморожування. Надшвидке заморожування в рідкому азоті дає змогу знизити втрати за рахунок витікання соку до 6–8 %, тоді як втрати під час традиційного заморожування становлять 30 %. Крім натуральної замороженої суниці (полуниці), виробляють нарізану суницю з цукром, суничне пюре з цукром тощо. Аналогічно (з цукром і без цукру) заморожують смородину, агрус, чорницю, ожину, малину та ін.

Абрикоси й персики заморожують розрізаними навпіл і без кісточок. Під час заморожування до плодів, як правило, додають цукор-пісок (у співвідношенні 3:1) чи заливають їх 35–50 %-м цукровим розчином, найчастіше з додаванням лимонної чи аскорбінової кислоти не лише як антиокисника, а й для поліпшення смаку.

Інтенсивність і характер змін продуктів під час заморожування залежать від умов і параметрів процесу, а також від якісних характеристик плодів та овочів. Специфіка складу і будови плодів та овочів, особливості та взаємозв'язок фізико-хімічних і біохімічних реакцій, що проходять у них, істотно впливають на збереження їх властивостей під час заморожування. Стан мембран і клітинних оболонок, їх проникність, іонна, молярна концентрація розчинених речовин окремих структурних утворень рослинних тканин, ступінь гідратації основних компонентів визначають особливості розподілу льоду в системі, розмір і форму кристалів.

При температурі нижче точки замерзання водяна пара у великих міжклітинних просторах починає конденсуватися у вигляді крапель вологи на клітинних стінках. Ця вода перетворюється в перші мікроскопічні кристалики льоду, що поширюються міжклітинними просторами, вкриваючи стінки клітин. Далі вони ростуть за рахунок вологи, що міститься у клітинах. Максимальне кристалоутворення в плодах та овочах відбувається при температурі $-2...-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. За швидкого проходження цього інтервалу можна уникнути значного дифузійного перерозподілу води і утворення великих кристалів. Міра пошкодження тканинних структур плодів та овочів під час заморожування залежить від розмірів кристалів льоду і фізико-механічних перетворень, що відбуваються в тканинах на молекулярному рівні.

Розмір кристалів льоду і характер їх розподілу між структурними елементами залежить від складу і властивостей плодів та овочів. Так, картопля і деякі інші овочі вкриті щільною природною оболонкою, що сприяє переохолодженню, тоді як капуста, що не має такої оболонки, практично не переохолоджується.

На характер кристалоутворення значно впливає міра стиглості плодів. У недостиглих плодах міститься багато вільної води і кристалізація йде насамперед усередині клітин, що діє на них згубно. У стиглих плодах накопичується пектин, що має високі гідрофільні властивості. Він зв'язує значну кількість води і утворює гелеподібну структуру, що сприяє зворотності процесу заморожування.

Діяльність ферментів є основною причиною появи сторонніх присмаків у продуктах. При цьому знижується вміст крохмалю і вітаміну С, зростають кислотність і кількість редуруючих цукрів, через ферментативне потемніння змінюється колір продукту, погіршується консистенція, смак, запах. Під час заморожування неупаковані плоди та овочі усихають. В тунельному морозильному апараті з примусовою циркуляцією повітря при $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ втрати маси становлять 0,2–0,9 %.

Визначальним фактором збереження високих споживчих якостей заморожених плодів та овочів є режим їх зберігання. Зниження температури зменшує втрати маси й інтенсивність незворотних змін якості. Оптимальним режимом зберігання заморожених плодів та овочів вважається температура -18°C і відносна вологість повітря 95–98 %. При цьому важливою є сталість температурно-вологісного режиму, бо його коливання призводять до перекристалізації в тканинах (що спричиняє руйнування клітин) і прискорення сублімації вологи (зменшення маси продукту).

У заморожених плодах практично вся вода перебуває у твердому стані, завдяки чому процеси життєдіяльності практично припиняються. Зниження температури додатково зменшує активність мікроорганізмів, які гинуть або переходять в стан глибокого анабіозу. Це дає змогу подовжити термін зберігання більшості продуктів рослинного походження до 6–12 місяців. Крім того, відсутність дихання і випаровування вологи призводить до скорочення природних втрат.

Розвиток виробництва заморожених плодоовочевих напівфабрикатів дає змогу значно (до 30 %) скоротити втрати харчових продуктів та найважливіших біологічно цінних компонентів сільськогосподарської сировини під час тривалого зберігання; вивільнити частину працівників у сферах торгівлі та громадського харчування, зайнятих працею з сортування та підготовки продуктів до реалізації та споживання; зменшити затрати домашньої праці; створити запаси продуктів у широкому асортименті для рівномірної реалізації у великих споживчих центрах протягом року.

Запитання для самоперевірки

1. Які фактори впливають на погіршення якості плодів після збирання? Чому доцільно швидко охолодити плоди після збирання?
2. Якими способами здійснюють охолодження плодоовочевої продукції? Охарактеризуйте переваги та недоліки кожного зі способів.
3. Які рекомендації існують для підтримання оптимальних температурно-вологісних режимів зберігання плодоовочевої продукції? Які допоміжні засоби використовують для подовження зберігання плодоовочевої продукції?
4. Як впливає зміна складу середовища у камері на процес зберігання плодів?
5. Що таке РГС? Які особливості мають огорожувальні конструкції камер з РГС? За допомогою якого обладнання створюється та регулюється РГС у камерах?
6. Що таке СГС? Як воно створюється? Які матеріали використовують для мембран? У чому полягають переваги СГС перед МГС та повітряним середовищем?
7. Як впливає зниження тиску середовища на зберігання плодів?
8. Якими способами заморожують плоди? Для чого під час заморожування використовують цукровий сироп? Які зміни відбуваються у плодах під час заморожування? За яких режимів зберігають заморожену плодоовочеву продукцію?

13. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ НА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

13.1 Заморожені та сублімовані страви і напівфабрикати

Вироблення заморожених продуктів – галузь харчової промисловості, що тепер найдинамічніше розвивається. Розроблені технології вироблення близько 500

видів заморожених рослинних та тваринних продуктів і напівфабрикатів, а також морепродуктів. Особливо вигідним є вироблення заморожених напівфабрикатів для малих підприємств, бо воно порівняно просте й мобільне. Попит на цю продукцію високий і мало залежить від сезону. За кордоном диференціюють заморожені страви за цільовим призначенням: щоденні обіди, страви святкової кухні, дієтичні страви тощо. Розроблено технології і обладнання для швидкого харчування (шкільні сніданки, бістро та ін.). В Україні також зростає виробництво заморожених напівфабрикатів, готових перших і других страв, спеціальних продуктів для різних груп населення, у тому числі з лікувальними та радіопротекторними властивостями. Особливу групу становлять фруктово-ягідні десерти з чорної смородини, полуниці, малини, вишні, сливи, чорноплідної горобини тощо; салати на базі гарбуза, яблук, зеленого горошку; м'ясо-рослинні другі страви. Вони зберігають натуральні властивості і харчову цінність сировини завдяки швидкому заморожуванню. Також виробляють м'ясні та рибні заморожені напівфабрикати – стейки, котлети філе тощо.

Переваги, пов'язані з виробленням швидкозамороженої продукції: зниження втрат сировини; зменшення на 20–25 % виробничих площ і на 50 % обслуговуючого персоналу на підприємствах громадського харчування; скорочення часу домашнього приготування їжі; забезпечення збалансованого харчування згідно з науковими рекомендаціями; нешкідливість для споживача і довкілля; зменшення витрати енергії на 50 % порівняно з її витратою на вироблення консервів. Темпи зростання виробництва замороженої продукції значною мірою визначаються розвитком виробництва сучасних домашніх холодильників і морозильників, у яких температуру зберігання таких продуктів можна підтримувати в інтервалі $-12\ldots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ та використанням промислових і домашніх мікрохвильових пристроїв, де заморожений продукт в упаковці доводиться до готовності за кілька хвилин.

У групі заморожених готових страв і кулінарних напівфабрикатів перше місце займають тістові та борошняні напівфабрикати та готові страви (зокрема піцца, пельмені, вареники, млинці з начинкою тощо). Технологічні послідовності їх вироблення схожі: підготовка сировини, приготування тіста, приготування начинки (фаршу), формування, заморожування, фасування, зберігання. (рис. 13).

Формовані пельмені не повинні перебувати при додатних температурах більш ніж 20 хвилин. Пельмені, виготовлювані для закладів громадського харчування, підсушують протягом 20 хв при температурі близько $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ у холодильних камерах на лотках і одразу направляють на приготування. Для тривалого зберігання підсушені пельмені заморожують. Кірочка, утворена під час підсушування, не лише запобігає появі тріщин, а й зменшує втрати вологи під час заморожування.

Для заморожування пельменів використовують низькотемпературні холодильні камери ($-25\ldots-35\text{ }^{\circ}\text{C}$) чи швидкоморозильні апарати (шафові, тунельні). Продукт розміщують на лотках, встановлених на рами, стелажі або візки. Температура в центрі готового замороженого пельменя не повинна перевищувати $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. У разі використання морозильних камер з інтенсивною циркуляцією повітря чи швидкоморозильних апаратів допускається не проводити підсушування, бо воно відбудеться на початку заморожування. Тривалість заморожування у такому разі становить 20-40 хвилин. Після заморожування пельмені розфасовують і подають на зберігання.

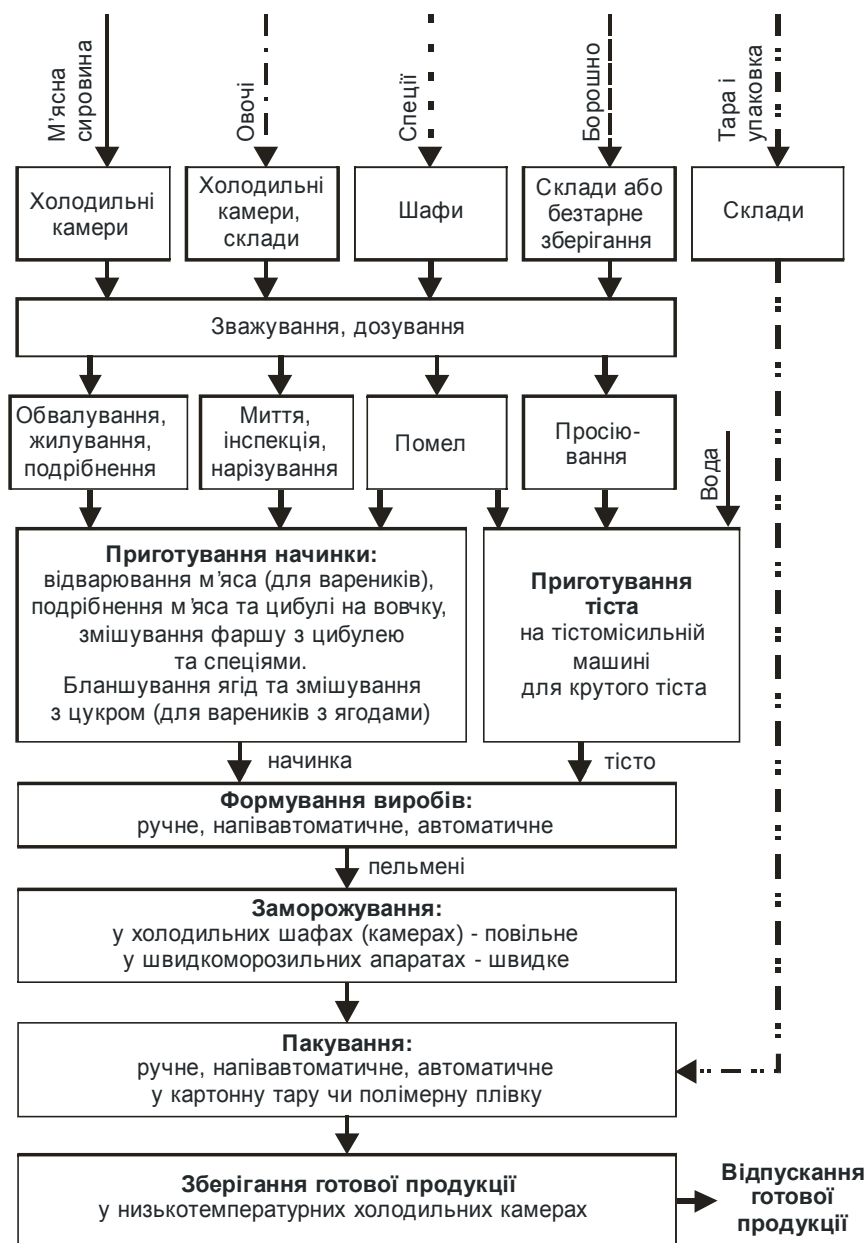


Рис. 13. Схема вироблення заморожених пельменів і вареників

Виготовляють заморожені пиріжки з пісного шаруватого тіста з фруктовими (вишнева, сливова, яблучна) і овочевими (гарбузова, капустяна) начинками та напівфабрикати начинок (подрібнена маса плодів сливи, гарбуза, яблук чи вишень без кісточок, змішаних з харчовим загусником і цукром). Тривале зберігання у замороженому стані начинок, тіста і пиріжків дає змогу виробляти їх у промислових масштабах і реалізувати за потребою у будь-яку пору року через систему роздрібної торгівлі та громадського харчування. Вироби з тіста з начинкою пакують у полімерну плівку після заморожування, напівфабрикати начинок – до заморожування.

Сублімаційне висушування (ґрунтується на здатності льоду за певних умов випаровуватися, минаючи рідку фазу) має ряд переваг порівняно з традиційними методами консервування: зникає потреба у холодильному зберіганні, бо сухі продукти можуть довго зберігатися при додатних температурах; значно зменшується маса висушених продуктів, знижуються видатки на їх вантаження і транспортування;

спрощується реалізація продуктів і подовжуються її терміни; смакові якості продуктів змінюються незначно (на відміну від теплового висушування).

Для проведення сублімаційного висушування слід дотримуватися двох обов'язкових умов: наявність основної частини вологи в продукті (не менше 70 %) в твердому агрегатному стані та підтримання достатньої різниці парціальних тисків водяної пари в продукті і довкіллі. Сублімаційне висушування можливе, коли тиск пари у довкіллі нижчий за тиск у потрібній точці води. При цьому лід, міняючи рідку фазу, перетворюється на пару, що асимілюється довкіллям чи десублімується на холодній поверхні випарника.

У процесі висушування до зони пароутворення слід безперервно підводити енергію для компенсації теплоти сублімації, що віднімається від продукту. Підведення теплоти до зони пароутворення ускладнюється у міру просування цієї зони вглиб продукту, бо шар підсушеного продукту здійснює опір як переходу пари з зони пароутворення до поверхні продукту, так і передаванню теплоти ззовні.

Висушують сублімаційним способом м'ясо і м'ясопродукти у сирому вигляді чи попередньо приготовані, молочні продукти, яйцепродукти, овочі, фрукти, плодово-ягідні соки, чай, каву.

Характер і кількісне співвідношення речовин, що входять до сухого залишку продукту, визначають умови його висушування і подальшого зберігання. Температура натуральних продуктів тваринного походження на стадії видалення вологи має бути такою, щоб в процесі висушування не відбувалися значні денатураційні зміни білків. Можливість окиснення жирів, деяких вітамінів та інших компонентів харчових продуктів визначає потребу в ізоляції більшості сухих продуктів від повітря в процесі зберігання.

Особливості *попереднього оброблення* сировини, що надходить на сублімаційне висушування визначаються специфікою складу і властивостей харчових продуктів і зводяться в основному до теплового оброблення, нарізання, подрібнення, введення добавок, а також біохімічних методів.

Заморожування як перший етап сублімаційного висушування істотно впливає на якість продуктів, причому швидке заморожування сприяє максимальному збереженню вихідних властивостей харчових продуктів. Харчові продукти, залежно від їх складу і властивостей, заморожують у спеціальних камерах під атмосферним тиском чи безпосередньо в субліматорі за рахунок інтенсивного випаровування частини вологи за безперервно зростаючого вакууму. Під час заморожування рідких і пастоподібних продуктів (молоко, соки та ін.) ефективним є заморожування у розпиленому стані з подальшим висушуванням заморожених гранул у тонкому шарі.

Під час проведення власне *сублімаційного висушування* (50–60 % від повного часу висушування) для отримання високоякісного продукту слід видалити 75–90 % вологи при від'ємній температурі в центральній зоні продукту. Решту найміцніше зв'язаної вологи видаляють при додатних температурах продукту. Допустимий рівень температури продукту в період сублімації і видалення залишкової вологи визначається його властивостями і тривалістю висушування. Харчові продукти досить високої якості можна отримати за помірно низьких температур сублімації – від -10 до -30 °C (для більшості овочів достатня температура сублімації -10 °C). Під час

висушування ягідних і фруктових соків через високий вміст у них цукру в зоні сублімації слід підтримувати температуру $-20\ldots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура продуктів тваринного походження під час сублімації вологи не повинна перевищувати $-15\ldots-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На стадії *видалення залишкової вологи* найважливішими факторами, що забезпечують високу якість продукту, є тривалість впливу підвищеної температури і її максимальне значення. Залежно від властивостей продукту і тривалості висушування межі допустимого рівня температур матеріалу в період видалення залишкової вологи становлять $40\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість цього періоду становить 30–40 %.

Продукти сублімаційного висушування мають порувану структуру, а отже, і високу абсорбційну здатність. Зневоднені продукти інтенсивно поглинають кисень та вологу з довкілля, причому найінтенсивніше в початковий період зберігання. Адсорбційну здатність продукту можна зменшити за допомогою його *пресування* в умовах, що виключають контакт продукту з повітрям. Ця операція також дає змогу збільшити густину продукту і коефіцієнт використання тари.

Сублімовані продукти одразу після пресування мають бути *герметично упаковані* в умовах зниженого вмісту кисню і вологи. Найбільш прийнятна для цих цілей тара з полімерних матеріалів на базі алюмінієвої фольги, кашированої полімерними плівками. Кисень з упаковки видаляють фізичними, хімічними чи біохімічними методами. У виробничій практиці найпоширенішим є одноразове вакуумування упаковки з подальшим введенням до неї азоту.

При сублімаційному висушуванні досить добре зберігаються поліненасичені жирні кислоти, незамінні амінокислоти, вітаміни, мінеральні речовини та інші важливі складові харчової цінності продуктів, а також властиві продуктам аромат і смак. Загальновизнано, що в процесі сублімаційного висушування відбуваються деякі зміни властивостей вихідної сировини, але вони мінімальні порівняно зі змінами під час консервування іншими методами.

13.2. Кондитерські та хлібобулочні вироби

Сировиною для кондитерського виробництва є цукор-пісок, крохмаль, крохмальна патока, кондитерський жир, молоко, яєчний порошок, мед, борошно, горіхи, фрукти, ягоди, какао-боби, какао-порошок, какаова олія, кава, лікери, коньяк тощо. Для виробництва карамельі готують цукро-патоковий сироп з води, цукру та патоки. Сироп уварюють у зміювиковій колонці до вмісту сухих речовин 86 % і подають для приготування карамельної маси – уварювання карамельного сиропу у вакуум-апаратах при температурі $110\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ до вмісту сухих речовин 97 %. Окремо готують начинку. Її уварюють у вакуум-апаратах (фруктова, молочна) чи темперують у темперувальних машинах (пралінова). Карамель формують механізованим способом у вигляді джгута (з начинкою чи без), який потім калібрують. Утворений карамельний джгут штампують чи нарізають на шматки потрібного розміру. Відформовану карамель охолоджують до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на транспортерах, що обдуваються охолодженим до $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ повітрям, загортають у обгортки та пакують у коробки з гофрокартону.

Для виробництва ірису цукро-патоковий сироп змішують зі згущеним молоком у рецептурній машині. Далі у варильній колонці при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ суміш уварюють до отримання ірисної маси з вологістю 6–7 %. Після уварювання її

вакуумують у паровіддільнику, щоб випарувати додаткову вологу та охолодити ірисну масу до 80 °С. Далі її охолоджують повітрям з температурою 5–10 °С у охолоджувальному барабані з одночасним формуванням ірисних пластів. Ірисні пласти розрізають на шматки, з яких формують цукерки, загортають їх у обгортки і подають на пакування охолодженим транспортером.

Сировина для виробництва цукерок різна для кожного сорту (сироп, жир, згущене молоко, фруктове пюре, горіхи тощо). Її готують по-різному, згідно з рецептурою. Компоненти змішують у обігріваній рецептурній машині до утворення цукерної маси, яку уварюють до потрібної вологості у варильній колонці. Різні цукерні маси далі обробляють по-різному. Помадну чи збивну маси збивають у збивальній машині і поступово охолоджують. До грильяхної маси додають подрібнені обсмажені горіхові ядра, а до пралінової – розтерті сирі горіхові ядра. Отриману цукерну масу відливають у крохмальні форми і охолоджують їх повітрям з температурою 4–10 °С для кристалізації цукерної маси. Після відсіювання крохмалю неглазуровані цукерки додатково охолоджують повітрям з температурою 4–10 °С на транспортері, загортають та пакують.

Корпуси глазуrowаних цукерок готують так само, як і неглазуровані цукерки. Перед глазуруванням їх охолоджують повітрям у тунельних камерах. Кондитерську глазур варять у рецептурній машині з какао-порошку, кондитерського жиру та цукрової пудри. Корпуси цукерок глазурують на глазурувальній машині. Глазуrowані цукерки охолоджують повітрям, загортають або фасують у картонні коробки.

Сировиною для вироблення пастило-мармеладних виробів (зефір, пастила) є цукро-патоковий сироп, фруктове пюре та яєчні білки. Всі компоненти змішують у рецептурній машині, а потім збивають. Збіту зефірну масу формують на піддонах і відстоюють до загуснення. Зефір окремих сортів глазурують.

Основною сировиною для виготовлення шоколаду є какао-боби. Після очищення від домішок на ситах їх обробляють гарячим повітрям (130-170 °С). Після подрібнення бобів на дробарках від них відокремлюється какаовела (лушпиння), а серцевину перетирають у вигляді какао-крупки. Після її темперування і пресування отримують какаові олію та макуху (її подрібнюють на какао-порошок).

Какао-порошок, какаову олію, а також цукрову пудру, фосфатидний концентрат та інші компоненти за рецептурою подають у змішувач шоколадної маси. Після приготування масу гомогенізують. Для високоякісних сортів шоколаду її обробляють у спеціальних конш-машинах протягом 24–72 годин (найбільш енергомістка операція). З готової шоколадної маси формують вироби (розливання шоколадної маси у форми та повільне охолодження повітрям), які загортають у фольгу чи папір. Шоколадну масу використовують як глазур для високоякісних цукерок.

Сировиною для печива є просіяне борошно, цукор, крохмаль, вода. З них у тістовимішувачах готують тісто. Печиво формують на автоматичних лініях. Сформоване печиво випікають у електричних чи полумєневих (газових) печах, після чого охолоджують повітрям на транспортерах. Деякі сорти печива глазурують. Печиво після глазурування також охолоджують на транспортерах.

Тісто для вафель готують у тістовимішувачах з просіяного борошна, води та крохмалю. У формувальних автоматах з тіста формують вафельні листи, які

випікають у печах. Випечені листи охолоджують і наносять на них попередньо приготовану у змішувачі начинку (40-55 °С) з кондитерського жиру, цукрової пудри та інших компонентів згідно з рецептурою – утворюються вафельні пласти, які охолоджують повітрям на транспортерах та розрізають на шматки потрібного розміру. Обрізки подрібнюють і повертають у змішувач для приготування начинки. Готове печиво та вафлі фасують у папір чи плівку.

Сировиною для хлібобулочних виробів є просіяне борошно, дріжджі, цукор, сіль, різноманітні добавки (мак, кунжут, родзинки тощо). Дріжджове тісто готують опарним чи безопарним способами. За опарним способом із дріжджів, борошна та води окремо готують рідке тісто – опару. За безопарним способом дріжджі додають одразу в тісто. Тісто вимішують у тістовимішувачах і формують заготовки виробів, які витримують у розстоювальних шафах при температурі 35–40 °С, для того щоб тісто зійшло, тобто внаслідок життєдіяльності дріжджових клітин наситилося бульбашками вуглекислого газу. За рахунок цього заготовки збільшуються у об'ємі, стають пухкими. Далі заготовки подають на випікання. Готові вироби складають на лотки та відправляють у торговельну мережу.

Останнім часом поширилася технологія вироблення хлібобулочних виробів з використанням заморожування. Вона дає змогу оперативно реагувати на потреби ринку у широкому асортименті, централізовано контролювати якість і безпеку виробів на стадії приготування заморожених тістових заготовок. Крім того, така технологія дає змогу значно розширити у місцях реалізації мережу порівняно недорогих міні-пекарень з неповним набором обладнання (без обладнання для приготування тіста). Залежно від того, на якому етапі приготування хлібобулочних виробів їх заморожують, існують різні модифікації технології, зокрема заморожування сформованих тістових заготовок чи пластин тіста, частково випечених виробів, готової продукції.

Найбільшого поширення набула технологія приготування хлібобулочних виробів із заморожених тістових напівфабрикатів. Для забезпечення найвищої якості швидкозаморожених напівфабрикатів і готових виробів із них слід використовувати високоякісне пшеничне борошно, морозостійкі хлібопекарські пресовані дріжджі; під час приготування тіста вносити поліпшувачі окисної дії (аскорбінову кислоту, азодикарбонамід, пероксид кальцію та ін.), поверхнево-активні речовини (фосфатидний концентрат, моно- та дигліцериди жирних кислот, лецитин та ін.), суху клейковину чи комплексні поліпшувачі аналогічної дії; замішувати тісто з початковою температурою 16–17 °С на апаратах інтенсивної дії; скоротити до мінімуму тривалість відлежування тіста перед формуванням заготовок виробів.

Особливості цього технологічного процесу такі:

1. На головному підприємстві виробляють заморожені напівфабрикати високого ступеня готовності. Тісто замішують, поділяють на шматки, попередньо розстоюють, після чого формують заготовки виробів. Готові тістові напівфабрикати заморожують (найчастіше у потоці охолодженого повітря) і зберігають у морозильних камерах до відправлення замовнику.

2. Заморожені напівфабрикати машинами-рефрижераторами розвозять замовникам (до міні-пекарень, закладів громадського харчування та торгівлі тощо).

3. Замовник зберігає заморожені напівфабрикати у морозильній камері до моменту реалізації.

4. Замовник реалізує або заморожені упаковані напівфабрикати, або розморожує їх, остаточно розстоює, випікає і реалізує готові хлібобулочні вироби тоді коли виникає попит на них.

Заморожують також і готові вироби – торти, тістечка, піццу тощо – у тунельних морозильних апаратах.

13.3 Олієжирові продукти

Сировиною для вироблення олії є насіння різних олійних рослин. В Україні найчастіше використовують насіння соняшнику, а також кукурудзи, льону, ріпаци, соєвих бобів. Насіння приймають від сільськогосподарських виробників, очищують від домішок, підсушують (за потреби) і подають на зберігання.

Насіння (як і зерно) *зберігають* у силосах елеваторів – циліндричних місткостях діаметром 5–7 м. і заввишки 30–40 м. Під час зберігання насіння насипом внаслідок біологічних процесів відбувається виділення теплоти (самозігрівання). Температура може підвищитися до 55–60 °С, що призведе до псування насіння. Для запобігання цьому використовують *активне вентилявання* – продування силосів повітрям, охолодженим до 1–2 °С. У такий спосіб насіння охолоджують до 5 °С, що дає змогу подовжити термін зберігання. Недоліком таких систем є значні витрати електроенергії вентиляторами та холодильними машинами.

Основна частина олії у насінні міститься у його ядрі, тому ядро відділяють від лушпиння. Для цього спочатку руйнують покривні оболонки механічним стисканням на валках (шеретування), а потім розділяють отриману суміш лушпиння і ядра, провіюючи її на віялках. Отримані ядра насіння подрібнюють на валкових дробарках, щоб зруйнувати клітинну структуру і полегшити вихід олії з клітин. Отриманий матеріал (м'ятка) проходить тепловологічне оброблення (інактивація при 60 °С та подальше смаження у жаровнях при 105 °С) для руйнування білкових оболонок клітин і полегшення виходу олії. Отриману мезгу пресують.

Перше пресування (форпресування) здійснюють на шнекових пресах. Отримана олія подається на рафінацію. Форпресова макуха містить певну кількість олії. На підприємствах, що не мають екстракційного цеху, її подають до пресів другого ступеня – експелерів. Олія другого пресування йде на рафінування, а макуха – на вироблення комбікорму.

Частіше застосовують екстрагування. Форпресову макуху формують у вигляді гранул і подають до екстрактора колонного чи зрошувального типу, куди надходить попередньо підігрітий до 30–40 °С розчинник (гексан, бензин, нефрас). Олія розчиняється у розчиннику, тому її залишки екстрагуються з макухи.

Залишок макухи після екстракції (шрот) проходить теплове оброблення у чанному тостері, до обігріваних чанів якого подають перегріту водяну пару для абсорбції пари розчинника. Після випарення розчинника шрот використовують у комбікормовій промисловості.

Розчин олії у розчиннику (місцелу) дистилюють на дистиляційній установці, що складається з трьох або чотирьох дистиляторів (випарних апаратів, що

обігривають водяною парою). Тиски та температури кипіння місцели за корпусами установки зменшуються. У останньому корпусі (кінцевий дистилятор) рештки розчинника відганяють з перегрітою парою, що подають всередину дистилятора. Після видалення розчинника екстракційну олію подають на рафінування. Розчинник використовують повторно. Для цього суміш пари розчинника та води з дистиляторів і тостера конденсують у конденсаторах (частина з них охолоджується холодоносієм з холодильних машин) та розділяють у відстійниках

Свіжа олія має у своєму складі чимало домішок, що негативно впливають на її смак, запах, стійкість під час зберігання. Для видалення цих домішок здійснюється багатостадійне рафінування олії.

Метою *гідратування* (оброблення водою) є вилучення з олії фосфатидів. Олію підігривають до 45–50 °С, змішують з водою і після відстоювання (при цьому фосфатиди переходять у воду) розділяють на лініях з сепараторами. Остаточно олію висушують у вакуум-сушильних апаратах. Фосфатидний розчин випарюють, отримуючи фосфатидний концентрат, який використовують у різних галузях промисловості.

Нейтралізація (лужне рафінування) здійснюється для вилучення залишків жирних кислот розчином NaOH. Олію та розчин NaOH підігривають до 80–90 °С, змішують, відстоюють у нейтралізаторі протягом часу, необхідного для перебігу реакції нейтралізації, та розділяють на сепараторах. Утворені натрієві мила (соапсток) використовуються як сировина для виробництва мила.

Ароматичні речовини з олії відганяють на стадії *дезодорації* перегрітою водяною парою (215 °С) на колонному (або іншого типу) дезодораторі. Олію попередньо підігривають до 200 °С. Перегріта пара на тарілках дезодоратора контактує з олією, абсорбує ароматичні речовини та виходить на вакуум-конденсатор. Вакуум у колоні поліпшує виділення ароматичних речовин із олії.

Речовини, що надають олії жовтогарячого кольору (колоранти) видаляють на стадії *відбілювання* за допомогою сорбентів (порошку каолінових глин та ін). Олію попередньо підігривають до 75–80 °С. Сорбент відфільтровують на вакуумних фільтрах, пропарюють для очищення і використовують повторно.

Вінтеризацію (виморожування) здійснюють для вилучення з олії воскоподібних речовин, що можуть спричиняти судинні захворювання та погіршують товарний вигляд олії, кристалізуючись у вигляді сітки при низьких температурах. Олію охолоджують льодяною водою чи розсолем у теплообміннику до 7–10 °С і витримують у експозиторі протягом 4–6 год, внаслідок чого воскоподібні речовини кристалізуються. Кристали відфільтровують на фільтрах. Для полегшення фільтрування олію попередньо підігривають у теплообміннику до 16–18 °С.

Метою *гідрогенізації жирів* є насичення жирних кислот, отримання жирів з температурою плавлення вищою за кімнатну, підвищення стійкості жиру. Утворений продукт (саломас) – сировина у виробництві маргарину, мила, гліцерину. Для гідрогенізації олію підігривають і подають у автоклав, де у присутності каталізатора при температурі близько 220 °С жирні кислоти реагують з воднем. Ця реакція екзотермічна, тобто після її початку виділяється теплота, яку слід відводити. Сучасні схеми передбачають використання теплоти реакції для попереднього підігривання олії перед автоклавом. Водень отримують шляхом електролізу води чи

термолізу природного газу. Готовий саломас охолоджують і подають на зберігання.

Маргарин – цінний харчовий продукт і сировина для кондитерської та хлібопекарської промисловості. Це емульсія жиру у водно-молочній фазі. Сировиною для його виробництва є саломас, олія, молоко, вода, емульгатор, сіль, цукор, харчові барвники. Саломас розплавляють, змішують з підігрітою до 60–70 °С олією, та подають у обігріваний парою змішувач маргаринової емульсії. Сухі компоненти розчиняють у воді, пастеризують при температурі 80–85 °С та подають у змішувач водно-молочної фази разом з пастеризованим молоком. Утворена суміш (водно-молочна фаза) надходить до змішувача маргаринової емульсії. Утворену у змішувачі маргаринову емульсію з температурою 45–50 °С охолоджують до температури 12–13 °С у переохолоднику, в оболонці якого кипить аміак. У кристалізаторі з водяним охолодженням при температурі 16–20 °С кристалізується маргаринова емульсія – утворюється маргарин. Його фасують у вощений чи фольгований папір чи полімерну тару та зберігають у холодильних камерах.

Майонез виготовляють з сухих компонентів (сухе молоко, гірчичний і яечний порошки, сіль), води, рафінованої дезодорованої олії, оцту, емульгатора. Сухі компоненти розчиняють підігрітою водою. Всі компоненти подають у обігріваний парою змішувач майонезної емульсії, де готують грубу майонезну емульсію, яка після гомогенізації стає майонезною пастою. Майонез фасують у полімерну тару чи скляні банки і зберігають при температурі 0–5 °С.

Охолоджені маргарин і кулінарні жири зберігають за відносної вологості повітря не більше як 80 % і постійної його циркуляції. Тваринні топлі жири упаковують у дерев'яні діжки чи ящики. Для зберігання жирів відводять окремі камери, бо вони легко сприймають сторонні запахи. Яловичий, баранячий, свинячий жир у ящиках і діжках зберігають при температурі 0–6 °С протягом 1 місяця, у герметичних металевих і скляних банках – протягом 18 міс.

13.4. Вироблення пива

Для виготовлення пива використовують різноманітну сировину. Найважливішою складовою є *вода*, головною вимогою до якої є м'якість (малий вміст солей кальцію та магнію). За потреби воду хімічно очищують від розчинених солей. *Солод* – це зерна злаків (найчастіше ячменю), пророщені за певної вологості й температури. До солоду можуть додавати несолоджене зерно: рис (січку), кукурудзу (борошно або січку), пшеницю, ячмінне борошно. *Хміль* – витка багаторічна рослина, шишки (суцвіття) якої містять ефірні олії. Хміль створює специфічний смак і аромат пива, підвищує його стійкість під час зберігання, сприяє кращому освітленню пива й утворенню піни. *Дріжджі* або дріжджові клітини використовують у процесі бродіння. Тепер у пивоварінні використовують винятково культурні дріжджі, що поділяють на раси.

Приготування солоду відбувається у солодових відділеннях пивоварних заводів або на солодових заводах. Протягом двох місяців після збирання врожаю ячмінь *відлежується* й дозріває. Далі його *очищують* від домішок, сортують і *замочують* у воді з температурою 10–16 °С. *Пророщують* зерно в токових або пневматичних солодовнях при температурі 13–16 °С. Якщо метою є приготування

світлого пива, то цей процес триває протягом 7–8 діб, якщо темного – 9. Протягом цього часу накопичуються ферменти-каталізатори, складні речовини зерна розкладаються, солод розпушується і стає солодким. Після пророщення солод *підсушують*. Температура сушіння на солодосушарках протягом доби піднімається до 80–85 °С (для світлого солоду) або протягом двох діб до 105 °С (для темного). Паростки підсихають, що дає можливість легко їх видалити. Солод набуває приємного хлібного смаку й аромату. Свіжовисушений солод витримують у солодосховищі не менш як 30 діб щоб він втратив крихкість. Після відділення домішок, що залишилися у відлежаному солоді його (як і несолоджену сировину) *подрібнюють* на валкових дробарках. Метою подрібнення є найповніше екстрагування екстрактивних речовин (розчинних вуглеводів і біологічно активних речовин). Важливою є якість подрібнення: оптимальне подрібнення має забезпечити максимально можливий вихід екстракту і досить високу швидкість фільтрування суслу. Подрібнений солод із зерном має назву *дробина*.

Затирання – це екстрагування водою розчинних речовин із дробини. Дробину змішують із водою (цю суміш називають *затором*). Далі затор нагрівають і витримують при певній температурі. У процесі затирання йде *оцукрювання затору* – перехід високомолекулярних вуглеводів (крохмалю і високомолекулярних декстринів), що залишилися в солоді, у низькомолекулярні декстрини і цукри (мальтозу, глюкозу). Далі цукри зброджуються, а низькомолекулярні декстрини надають пиву повноти смаку і забезпечують кращу стійкість піни. Затирання роблять настоювальним або відварювальним способами. Залежно від способу затирання можна одержати сусло різного складу, отже, й різні сорти пива.

Після оцукрювання затору його фільтрують на фільтрпресах або частіше – у фільтрчанах, розділяючи на *пивне сусло* (водний розчин екстрактивних речовин, одержуваних під час затирання, який подають у сусловарильний апарат) та *пивну дробину* (нерозчинена у процесі затирання частина зернопродуктів, яку використовують як складову комбікормів).

Хміль із суслом варять у сусловарильному апараті. При цьому відбувається екстрагування і відповідні перетворення гірких і ароматичних речовин хмелю – *охмелення суслу*. Цей процес також веде до коагуляції високомолекулярних білків, деактивації ферментів, стерилізації суслу, видалення непотрібних ароматичних речовин. Кип'ятять сусло з хмелем 1,5–2,5 год, при цьому хміль вносять 2–4 прийомами. Деякі з білків, розчинених у суслі, реагують з дубильною кислотою хмелю. Утворені сполуки випадають в осад, що називають *трубом*. Гарячий труб випадає під час кип'ятіння, а холодний – під час подальшого охолодження суслу.

Після охмелення у сусловарильному апараті сусло надходить у хмелевідбірний чан для фільтрування (при використанні хмельових шишок) або у гідроциклонний апарат на освітлення (при використанні гранульованого хмелю, екстракту чи їх суміші).

Мета освітлення пивного суслу – осадження завислих часток хмелевої дробини, трубу та інших грубих суспензій. Для цього використовують гідроциклонний апарат із круговою циркуляцією суслу – вірпул. Сусло подається тангенційно і закручується, завислі частки осідають у центрі днища. Тривалість операції 20–60 хв,

температура гарячого охмеленого сусла на виході з апарата близько 90 °С.

Освітлення також здійснюють у відстійних чанах або дуже рідко – на охолоджуваних тарілках. Тривалість процесу в цьому разі – 2 год, температура на виході з апарата чи тарілки 60 °С.

Для життєдіяльності дріжджових клітин потрібна температура не вище як 20 °С, інакше дріжджові клітини послаблюються, а небажані термофільні мікроорганізми активізуються. Тому сусло, охолоджують до температури бродіння у кожухотрубному чи пластинчастому теплообміннику. У першій секції сусло охолоджується за допомогою питної води, яка потім використовується у виробництві, у другій – за допомогою льодяної води чи іншого холодоносія. За класичною схемою охолодження триває для низового бродіння до 5–7 °С, для верхового – до 14–16, для прискореного – до 9 °С. Точне значення температури залежить від сорту пива та використовуваного штаму дріжджів.

Після охолодження виходить *початкове сусло*, що надходить на бродіння. Концентрація розчинених речовин у цьому суслі (щільність) вказується на етикетці і є однією з характеристик будь-якого сорту пива. Це сусло аерують (вводять кисень, необхідний для життєдіяльності дріжджів) та вносять дріжджі.

Бродіння пива поділяється на *головне* і *доброджування*. Головне бродіння у бродильних танках триває 7–10 діб (залежно від сорту) при температурі 5–10 °С. Більша частина екстракту сусла, що складається з вуглеводів або цукрів, зброджується, решта – декстрини, білки, мінеральні речовини – ні. Утвориться етиловий спирт, діоксид вуглецю (вуглекислота) і у малих кількостях гліцерин, оцтовий альдегід, оцтова, бурштинова, лимонна і молочна кислоти, діацетил, ацетон, вищі спирти. Для забезпечення температурного режиму бродіння у бродильному відділенні слід підтримувати температуру близько 8 °С. Зовнішні теплонадходження відводять за допомогою повітроохолодників.

В останню добу бродіння температуру у бродильних танках поступово знижують до 0 °С, подаючи у охолодні змішувачі танків льодяну воду. Після цього пиво подається на доброджування у лагерні танки, де екстракт доброджує при температурі 0–2 °С, протягом від 21 доби (для сортів типу Жигулівського) до 90 діб (для аналогів Ленінградського). Відбувається насичення вуглекислотою, освітлення та дозрівання пива, формування його букета. Лагерні танки не мають змішувачів, тому температуру у лагерному відділенні підтримують на рівні 0 °С за допомогою повітроохолодників.

На сучасних заводах з метою збільшення продуктивності використовують циліндроконічні танки (ЦКТ), що мають декілька окремих охолодних оболонок, одна з яких розміщена на конічній частині (крім бродильних ЦКТ), а решта – на циліндричній. Оболонки охолоджують льодяною водою або розсолем. У ЦКТ проходять процеси бродіння, доброджування та інтенсивного охолодження.

Пиво фільтрують зазвичай на спеціальних кізельгурових або діатомітових фільтрах, що складаються з кремнієвих панцирів одноклітинних водоростей. Готове відфільтроване пиво до подавання на розлив зберігають у збірниках (*форфасах*) при температурі близько 0 °С. Форфаси розміщують у форфасному відділенні, де за допомогою повітроохолодників температура повітря підтримується на рівні 0 °С.

Для непастеризованого пива термін зберігання становить 7–10 діб, залежно від сорту. Для збільшення терміну зберігання до 30–90 діб пиво пастеризують. Його нагрівають у пластинчастому теплообміннику до 90 °С, а потім охолоджують (на останній стадії – льодяною водою). Внаслідок пастеризації у пиві гинуть бактерії, що спричиняють його псування, але разом з цим відбуваються мікробіологічні та біохімічні зміни, що змінює смак пива.

Готове пиво розливають у різні види тари (скляні або пластикові пляшки різної місткості, металеві кеги) при температурі не вище як 3 °С в ізобаричних умовах, тобто коли воно перебуває під постійним надлишковим тиском. Якщо пиво розливати без тиску, воно буде пінитися, що призведе до втрати газу і неповного наливання в пляшки. Пляшки закупорюють, етикетують і укладають у ящики. Ящики з пивом подають на зберігання до холодильника або одразу відвантажують.

13.5. Вироблення вин

Сировиною для виробництва вин є ягоди і фрукти, насамперед виноград. Виноградні вина різняться за способами виготовлення. Сортіві вина виготовляють з одного сорту винограду, а купажні – з декількох сортів.

Тихі вина не містять надлишку CO₂. Вони поділяються на *столові*, *міцні* та *ароматизовані*. Столові вина містять 9–14 % об. спирту, що утворюється лише внаслідок бродіння винного сусла, причому сусло виброджує повністю. Вони не підлягають тривалій витримці і зберігаються при температурі близько 0 °С. У міцних винах (херес, мадера, десертні вина та ін.) бродіння переривається додаванням спирту. Для вироблення ароматизованих вин (вермути) використовують настоянки трав і прянощів.

Ягоди винограду відокремлюють від гребенів і подрібнюють на спеціальних дробарках. З отриманої мезги відділяють сік (простим стіканням, а далі – на пресах). Отримане сусло очищують від обривків шкірки, часток мезги (освітлюють) за допомогою фільтрування, центрифугування або відстоювання. Для прискорення відстоювання сусло у відстійних резервуарах охолоджують до 10–12 °С.

Освітлене сусло подають на бродіння. Температуру сусла під час бродіння столових вин підтримують на рівні 15–18 °С (білі) або 21–32 °С (червоні). Для відведення теплоти бродіння використовують водяні охолоджувальні оболонки. Після закінчення бродіння молоде вино фільтрують і витримують у бочках чи пляшках для досягнення ним повного смаку і аромату – букета вина.

Охолодження є ефективним способом освітлення вина. Швидке зниження температури до –2 °С для столових вин і до –5 °С для кріплених спричинює випадання в осад колоїдів, на поверхні яких адсорбуються органічні частки. Отриманий осад відфільтровують.

Для деяких міцних вин застосовують виморожування, що дає змогу отримати вино на 0,5–1 % об. вищої міцності. При зниженні температури до –5 °...–7 °С у вині виділяються кристали льоду, які наростають зі зниженням температури. Після закінчення виморожування вино зливають і витримують кілька днів у холодному вентильованому приміщенні (близько 0 °С), після чого розливають у бочки чи пляшки. Під час виморожування вино очищується – осаджуються винний камінь

(розчинні солі) та ферменти.

Ігристі вина, насичені вуглекислим газом, виготовляють шляхом вторинного бродіння (*шампанізації*) готового виноматеріалу. Молоде вино витримують на дріжджах 1,5–2 місяці при температурі не вище як 12 °С та очищують. Після цього виноматеріал охолоджують у резервуарах до 5 °С протягом 2 діб, фільтрують, видаляють кисень, додають дріжджі.

Шампанізацію ведуть у пляшках (класична технологія) або у резервуарах. За *класичною технологією* суміш вина, дріжджів і лікеру (тиражну суміш) розливають у пляшки, закорковують технологічним корком і укладають у приміщення з температурою 10–12 °С. Цукор у суміші зброджується, виділяється вуглекислий газ і тиск у пляшці зростає. Бродіння триває до трьох років, після чого осад дріжджів видаляють з пляшок, закорковують їх звичайним корком, етикетують і пакують у ящики.

Недоліком класичної технології є значні затрати ручної праці та потреба у великих виробничих приміщеннях для зберігання пляшок з вином. Тому використовують *резервуарний спосіб*, коли шампанізація здійснюється у сталевих резервуарах (акратофорах) з системою автоматичного регулювання температури бродіння. Проте таке шампанське менше цінують на ринку. Ще одним способом вироблення ігристих вин є газування тихого вина харчовим вуглекислим газом (подібно до технології вироблення газованих безалкогольних напоїв).

13.6. Вироблення безалкогольних напоїв

Напої, насичені вуглекислим газом, мають своєрідний приємний смак, добрі освіжувальні властивості. До того ж вуглекислий газ діє як консервант, завдяки чому зростає стійкість напоїв під час зберігання. Напої насичують вуглекислим газом до концентрації 4–10 г/л. механічним введенням і розчиненням у рідині вуглекислого газу (фруктові води, газована вода) чи природним насиченням напою вуглекислим газом, що виділяється під час бродіння (хлібний квас).

Для приготування газованих безалкогольних напоїв використовують хімічно очищену та деаеровану питну воду, цукровий сироп, органічні кислоти (лимонну, виннокам'яну, молочну, ортофосфорну, аскорбінову та ін.), концентрати соків, ароматизатори, екстракти та есенції з рослинної сировини. З підібраних згідно з рецептурою компонентів готують *купажний сироп* зі вмістом сухих речовин 33–46 %. Його фільтрують, додатково деаерують і розбавляють охолодженою до 10 °С деаерованою водою. Отриману водно-купажну суміш охолоджують розсолем у теплообмінниках до температури 2–5 °С та подають на газування.

Напої *газують* харчовим вуглекислим газом у сатураторах чи металевих танках під тиском 0,4–0,7 МПа. Під таким тиском при низькій температурі розчинність вуглекислого газу у воді значно зростає. Після сатурації напій з температурою не вище як 10 °С на потокових автоматизованих лініях розливають у пляшки, закупорюють і наклеюють етикетки. Пляшки з напоями складають у ящики.

Основною сировиною для вироблення хлібного квасу є концентрат квасного сусла (ККС), який виготовляють на спеціальних заводах з житнього чи ячмінного солоду та борошна. Вміст сухих речовин у ККС становить близько 70 %. ККС розбавляють питною водою до вмісту сухих речовин близько 35 %, пастеризують

при температурі 75–80 °С, охолоджують проточною водою до 30–35 °С. Потім додають питну воду до вмісту сухих речовин 2,8–3,0 %, готуючи таким чином основне сусло. Його *зброджують* у бродильно-купажних апаратах або у циліндроконічних апаратах, що за конструкцією аналогічні ЦКТ (див. п. 13.4) з використанням дріжджів і молочнокислих бактерій. Теплоту, що виділяється під час бродіння, відводять за допомогою льодяної води, що подається до охолоджувальних оболонок апаратів. Зброджене сусло (молодий квас) *охолоджують* до 2–7 °С у циліндроконічних чи окремих апаратах з використанням холодоносія (розсіл, розчин етиленгліколю тощо). Після охолодження та видалення щільного осаду дріжджів і молочнокислих бактерій зброджене сусло подають на купажування, де до нього додають окремо приготований пастеризований цукровий сироп концентрацією близько 65 %, після чого обов'язково перевіряють органолептичні властивості продукту. Купажований квас при температурі не вище як 12 °С подається на розлив. Найчастіше його розливають в автоцистерни.

Соки виробляють із овочів, фруктів, винограду, ягід пресуванням. Після пресування отриманий сік пастеризують (нагрівання у теплообміннику протягом 20 с до 85–90 °С та швидке охолодження до 30–35 °С). Пастеризований сік центрифугують і фільтрують (за потреби).

Для виготовлення освітлених соків зціджений сік з винограду, яблук, груш, вишень, порічок тощо охолоджують у теплообмінниках до 3–5 °С і подають у освітлювальні апарати, які розташовують у охолоджуваних приміщеннях. У апарати додають 1%-ні розчини желатину і таніну. Утворюється осад, який видаляють за допомогою відстоювання та фільтрування. Виготовляючи соки з вишні, черешні, аличі, інших ягід, прагнуть видобути з плодів якомога більше барвних речовин. Для цього плоди попередньо заморожують до –20 °С і після розморожування пресують. Завдяки руйнуванню оболонок клітин вихід інтенсивно забарвленого соку зростає на 10 %, максимально зберігаються вітаміни та біологічно активні речовини.

Для тривалого зберігання чи перевезення великі об'єми соків концентрують, зменшуючи масу та об'єм. Тоді значно зменшується об'єм складських приміщень, а завдяки зростанню вмісту органічних кислот у продукті практично не розвивається мікрофлора. Найчастіше використовують концентрування у багатокорпусних вакуум-випарних установках, проте такий спосіб потребує нагрівання соку до 65–70 °С, через що погіршується його смак, знижується харчова цінність (насамперед, розкладаються вітаміни). Подібна проблема наявна і у виробництві фармацевтичних препаратів, харчових добавок і концентратів, коли слід видалити зайву воду з продукту за максимального збереження у ньому біологічно активних речовин.

Для уникнення погіршення якості концентрату використовують кріоконцентрування, або концентрування поступовим виморожуванням. При досягненні кріоскопічної температури з розчину виділяються кристали льоду, які відфільтровують чи відділяють на центрифугі. Зі зниженням температури концентрація розчину зростає. Так отримують розчини зі вмістом сухих речовин 30–40 %, у яких максимально збережені поживні речовини вихідного продукту, бо розчин не підлягав впливу високих температур. Недоліком способу є його порівняно висока вартість, через що він поступово витісняється осмотичною мембранною фільтрацією.

Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає перевага швидкозаморожених продуктів і напівфабрикатів для споживача? Опишіть технологічну схему вироблення пельменів.
2. У чому полягає перевага сублімаційного висушування перед тепловим? Опишіть процес сублімаційного висушування. Навіщо пресують сухі продукти?
3. Опишіть технології вироблення різних сортів цукерок. Для чого використовують штучний холод під час вироблення цукерок? Для чого і у який спосіб охолоджують вафельні пласти?
4. Для чого і у який спосіб використовують заморожування під час виробництва хлібобулочних виробів? Які переваги заморожування напівфабрикатів?
5. Опишіть процес вироблення олії пресово-екстракційним способом. Для чого необхідно охолоджувати насіння? Які розчинники використовують для екстракції олії? Що таке місцела? Як здійснюють рекуперацію розчинника?
6. Для чого рафінують олію? Які домішки і яким способом видаляють на кожній зі стадій рафінування?
7. Опишіть технологію вироблення маргарину. Для чого у ній використовують штучний холод?
8. Опишіть технологію вироблення пива? Як і навіщо охолоджують сусло? Для чого необхідне бродіння пива? Які дріжджі при цьому використовують? У чому перевага циліндроконічних танків?
9. Для чого виморожують вина?
10. Що таке сатуратор? Навіщо охолоджують водно-купажну суміш перед газуванням?
11. Опишіть технологію вироблення хлібного квасу. Для чого у ній використовують штучний холод?
12. Чому доцільно заморожувати, а потім розморожувати вишню, черешню, інші ягоди перед видобуванням соку?
13. Що таке кріоконцентрування? Для чого його використовують? Які переваги має кріоконцентрування перед випарюванням?

14. ХОЛОДИЛЬНЕ ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ У СПОЖИВАЧА

14.1. Рефрижераторний транспорт

Холодильний транспорт і транспортні холодильники є обов'язковою частиною холодильного ланцюга. Перевезення продуктів при температурі, що відповідає режиму зберігання у стаціонарних умовах, гарантує збереження якості і скорочення втрат продуктів. Це є визначальним у створенні транспортних рефрижераторних засобів. Підвищення температури під час перевезення вантажу суворо обмежено. На всіх транспортних ланках доцільно створювати однакові температурні умови для того самого виду продукту і відповідність цих умов стаціонарним.

Холодильні транспортні засоби повинні відповідати вимогам національних і міжнародних стандартів. Наземні транспортні засоби поділяють на ізотермічні,

холодильні з безмашинним охолодженням, холодильні з машинним охолодженням та опалювані.

Ізотермічний (неохолоджуваний) транспортний засіб має кузов (або цистерну), що складається з теплоізоляційних огорожувальних конструкцій, які мають коефіцієнт теплопередачі до $0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ у звичайному виконанні та до $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ із посиленою ізоляцією.

Холодильний транспортний засіб з *безмашинним охолодженням* – теплоізольований, охолоджуваний водним льодом, сумішшю водного льоду із сіллю, сухим чи евтектичним льодом, кріорідинами (азотом, повітрям) та іншими пристроями, крім компресорних і абсорбційних машин. Його система охолодження здатна знизити температуру в порожньому кузові і потім підтримувати її при зовнішній температурі 30°C залежно від класу: не вище як -20°C (клас С); не вище як -10°C (клас В) і не вище як 7°C (клас А). Система охолодження повинна забезпечити зниження температури до заданого значення (залежно від класу) і підтримувати її на заданому рівні протягом принаймні 12 год без додаткових надходжень енергії чи охолоджувальної речовини.

Холодильний транспортний засіб з *машинним охолодженням* – теплоізольований, має індивідуальну чи спільну для декількох транспортних одиниць холодильну установку, що при зовнішній температурі 30°C дає можливість знижувати температуру всередині порожнього кузова і потім підтримувати її залежно від класу: $12\text{--}0^\circ\text{C}$ (клас А), $12\text{--}10^\circ\text{C}$ (клас В), $12\text{--}20^\circ\text{C}$ (клас С), не вище як 2°C (клас D), не вище як -10°C (клас Е); не вище як -20°C (клас F).

Опалюваний транспортний засіб – теплоізольований, має нагрівальну установку, яка дає змогу підвищувати температуру всередині порожнього кузова і потім підтримувати її без додаткового підведення енергії протягом щонайменше 12 год на постійному рівні не нижче як 12°C при середній температурі зовнішнього повітря залежно від класу: -10°C (клас А), -20°C (клас В).

Залізничні вагони рефрижераторного рухомого складу за своїм призначенням поділяють на універсальні та спеціальні. Останні призначені для перевезення тільки спеціальних продуктів, наприклад молока, вина. Універсальні вагони застосовують для перевезення всіх видів продуктів. Вони у свою чергу можуть бути ізотермічними і холодильними, з машинним чи безмашинним охолодженням.

Ізотермічні вагони в Україні становлять незначну частину рухомого складу. В основному це спеціальні вагони. За кордоном, зокрема у США, ізотермічні вагони (вагони-термоси) переважають у парку холодильного рухомого складу, що зумовлене декількома причинами. Розвинена система попереднього охолодження харчових продуктів і використання в конструкції кузова панелей типу «сендвіч» з високими теплоізоляційними властивостями дають можливість перевозити у вагонах-термосах різноманітні харчові продукти. При цьому припустима зміна температури у кузові становить не більше як $0,8 \text{ К}$ за добу. Істотною перевагою ізотермічних вагонів є відсутність холодильного обладнання, а отже необхідності енергопостачання і технічного обслуговування на шляху проходження.

У *безмашинному охолодженні* вагонів використовують льодяне і льодосоляне охолодження, охолодження твердим і рідким діоксидом вуглецю, кріорідинами. У машинному охолодженні використовують парокомпресійні холодильні машини.

Рефрижераторні вагони постачаються залізницям у вигляді рефрижераторних поїздів і секцій з постійною кількістю вагонів й у вигляді автономних (окремих) вагонів. Найкращою для експлуатації та виконання вантажних робіт на холодильниках є п'ятивагонна секція, довжина якої дорівнює довжині вантажної платформи холодильника середньої і великої місткості (приблизно 100–120 м).

Усі типи рефрижераторного рухомого складу мають центральне енергопостачання від дизель-генераторної установки, що стоїть в одному з вагонів поїзда чи секції. Кожен автономний вагон має власні дизель-генераторні установки.

Автомобільний холодильний (рефрижераторний) транспорт застосовується як для міських перевезень, так і далеких міжміських і міжнародних перевезень харчових продуктів. Засобами автомобільного холодильного транспорту є фургони, напівпричіпи, причіпи одно- та двохосьові. Вони можуть бути ізотермічними і холодильними (авторефрижераторами) з машинним і безмашинним охолодженням.

Залежно від вантажопідйомності і призначення засоби автомобільного холодильного транспорту поділяють на такі основні типи: малої вантажопідйомності (0,5–1,5 т) – для міських перевезень продуктів дрібними партіями, середньої (2,5–5 т) – для міських і обласних перевезень продуктів великими партіями та великої вантажопідйомності (8–22 т) – для міжобласних і міжнародних перевезень продуктів.

Ізотермічні автомобілі застосовують для короткострокових перевезень попередньо охолоджених (або заморожених) продуктів. Необхідна низька температура повітря всередині кузова зберігається за рахунок холоду, акумульованого самими продуктами.

Автомобілі з безмашинним охолодженням (діоксидом вуглецю, евтектичним льодом і кріогенними рідинами) застосовують, як правило, для міських перевезень харчових продуктів.

Автомобілі з машинним охолодженням широко розповсюджені і використовуються як для міських, так і для міжміських та міжнародних перевезень. Холодильна установка компонується у вигляді двох блоків: холодильного агрегату і теплового двигуна для автономного приводу компресора, розміщених на передній торцевій поверхні кузова, та повітроохолодника, розміщеного в охолоджуваному кузові рефрижератора. Холодильна установка, повністю автоматизована. На авторефрижераторах великої вантажопідйомності застосовують холодинно-обігрівальну установку, що може працювати в режимі обігрівання кузова, коли температура зовнішнього повітря нижча тієї, яку необхідно підтримувати в кузові.

Холодильні контейнери – тара багаторазового використання для змішаних перевезень продуктів і їх тимчасового зберігання. Застосування контейнерів забезпечує сталість температурних та інших режимів на всьому шляху проходження, високу надійність і швидкість доставки. Впровадження контейнерних перевезень збільшує оборотність транспортних засобів, підвищує продуктивність праці під час навантажувальних робіт. Водночас контейнеризація вимагає великих

витрат: потрібні контейнерні майданчики (термінали) для зберігання контейнерів, станції їх технічного обслуговування, розвинута транспортна мережа тощо. Контейнеризація доцільна у разі змішаних перевезень на великі відстані на постійних лініях, коли наявний зустрічний потік вантажів. Розміри, маса, конструктивні елементи рефрижераторних контейнерів регламентуються стандартами міжнародної організації зі стандартизації (ISO). Залежно від вантажомісткості (за масою брутто) контейнери бувають великотоннажні (від 10 до 30 т), середньотоннажні (від 2,5 до 5 т), малотоннажні (до 1,5 т). Контейнери мають різну довжину, але однакові висоту і ширину – 8 футів (2438 мм). Контейнери, призначені для перевезення м'яса в підвішеному стані, мають збільшену висоту – 2591 мм. Основою контейнерного парку є великотоннажні масою брутто 20 т (тип 1С завдовжки 6055 мм) і 30 т (тип 1А завдовжки 12190 мм). Холодильні контейнери можуть бути ізотермічними, з машинним і безмашинним охолодженням та опалюваними. Номінальний режим роботи контейнерів: охолоджуваних – температура у вантажному об'ємі контейнера -20°C при зовнішній температурі 45°C , опалюваних – температура у вантажному об'ємі 16°C при зовнішній температурі -40°C . Холодильна (і нагрівальна) установка повинна виконувати свої функції при зовнішній температурі $55\ldots-55^{\circ}\text{C}$ і за атмосферного тиску 83–105 кПа. Для перевезень дихаючих продуктів (фруктів, овочів) має бути передбачена вентиляція з об'ємною подачею від 1,5 до $5,9\text{ м}^3/\text{год}$.

За своїм експлуатаційним призначенням рефрижераторні судна поділяються на транспортні морського і річкового флоту для перевезення швидкопсувних вантажів; флоту рибної промисловості; спеціалізовані рефрижераторні (наприклад, судна-контейнеровози, для перевезення фруктів). Як правило, транспортні судна-рефрижератори можуть перевозити будь-які види продуктів. Універсальні рефрижераторні транспортні судна щорічно перевозять понад 60 % маси швидкопсувних продуктів, що беруть участь у світовій торгівлі, упаковані на піддонах чи насипом, при температурах від -30 до 14°C . Значна частина засобів морського рефрижераторного транспорту обслуговує рибну промисловість (виловлювальні або промислові, обробні і приймально-транспортні судна).

Потреба у свіжих високоякісних продуктах увесь час збільшується, тому розвивається повітряний холодильний транспорт. Проте через його високу вартість основну частину всього обсягу перевезень становлять продукти, які швидко втрачають якість і мають високу вартість: морські делікатесні продукти, екзотичні фрукти, квіти, ягоди. Продукти, що перевозяться, розміщують на піддонах і в контейнерах, різних за конструкцією та місткістю і пристосованих до транспортування в літаках. Їхні характеристики поки що міжнародними стандартами не регламентовані. Для охолодження продуктів, що перевозяться, використовують забортне повітря, температура якого під час польоту на великій висоті сягає -55°C . Широко використовують також твердий діоксид вуглецю.

14.2. Особливості транспортування харчових продуктів

Технологія зберігання продуктів швидкого псування визначає і технологію перевезень. Безперервність холодильного ланцюга потребує дотримання однакових

умов як на стаціонарних холодильниках, так і на транспорті. Несприятливі умови зберігання продуктів на стаціонарних холодильниках ускладнюють перевезення, скорочують граничний термін транспортування.

У загальному обсязі перевезень залізницею м'ясо та м'ясопродукти становлять близько 6 %. Частина цих перевезень здійснюється в рефрижераторних вагонах, решта – у вагонах-льодниках (теплоізольовані вагони, низькі температури у яких підтримуються за допомогою льоду, снігу, кріорідин тощо). Перевезення м'яса характеризуються значною сезонністю, що визначається нерівномірністю заготівлі худоби протягом року: понад 40 % заготовлюється восени.

Для транспортування м'яса залізницею застосовують п'ятивагонні секції, обладнані пристроями для підвішування м'ясних туш. Використовують також автономні вагони. Вагони й секції закріплені за великими м'ясокомбінатами, що постійно відвантажують охолоджене м'ясо в промислові центри.

Охолоджене м'ясо транспортують у підвішеному вигляді, розміщуючи праві напівтуші з одного боку, ліві – з іншого. Четвертини яловичини і туші баранини підвішують двома ярусами на дерев'яних розгонах чи мотузках. Перспективним є перевезення охолодженого м'яса в ящиках. Для цього туші розрубують на стандартні відруби, які загортають у поліетиленову плівку та щільно вкладають у ящики. Такий спосіб дає змогу щільніше завантажувати транспортні засоби, скорочує усихання, поліпшує санітарні умови. Переохолоджене м'ясо кладуть уздовж вагона на підлогові решітки щільними штабелями.

Основну частину м'яса та м'ясопродуктів перевозять у замороженому стані. М'ясо укладають у вагонах щільним штабелем, що дає змогу вантажу краще акумулювати холод і зменшує усихання. М'ясо різних категорій вгодованості завантажують у вагон окремо. Терміни перевезення м'яса залежать від типу вагона, пори року і становлять в середньому 5–20 діб для мороженого, 3–12 – для охолодженого м'яса. Такі самі способи укладання застосовують під час перевезення м'яса автомобільним холодильним транспортом. Сумісне перевезення охолодженого і замороженого м'яса не рекомендується, допускається лише короткострокове при температурі 0–1 °С.

Рибу та рибопродукти завантажують до холодильного транспорту у портах. Зосередження завантаження сприятливе для оптимізації перевезень. Проте через віддаленість портів від основних місць споживання середня дальність перевезень риби значно вища, ніж інших швидкопсувних вантажів.

До надходження на наземний транспорт значна частина риби тривалий час зберігається на морському транспорті (рефрижераторних суднах) і в портових холодильниках. Рибу, що надходить до портів у обробленому вигляді, перевантажують до вагонів з борту судна. *Охолоджену рибу* (прісною чи морською водою, льодом) перевозять у ящиках чи ящиках-клітках, сухотарних діжках, які розміщують у вагонах чи автомобільних кузовах щільними і правильними рядами. Збереження риби забезпечується за рахунок безперервного танення шарів льоду, якими вона перекладена. Частіше перевозять *морожену рибу*. Рибу сухого замороження перевозять у картонних коробах чи дерев'яних ящиках. Рибу, заморожену мокрим способом, перевозять у спеціальних контейнерах чи деках, що не пропускають розсіл. Температура перевезення мороженої риби не вище як –18 °С

для риби сухого замороження, -12°C – мокрого заморожування, за льодосоляного і природного способів заморожування – не вище як -6°C .

Оселедці, жирну рибу, особливо пряного посолу та мариновану, перевозять у заливних діжках, пісну і середньої жирності – у сухотарних діжках чи дерев'яних ящиках. *В'ялену рибу* пакують у ящики з отворами для вентиляції, в дранкові коробки, плетені кошики, рогожні кулі, мішки, сухотарні діжки. Рибу в м'якій і жорсткій тарі складають у вагоні чи кузові в декілька рядів, прокладаючи рейками, шаховим способом, залишаючи між рядами проміжки для циркуляції повітря.

Рибу гарячого копчення приймають для перевезення залізницею лише замороженою, і доставляється вона лише рефрижераторним залізничним і автомобільним транспортом. *Рибу холодного копчення* перевозять упакованою в дерев'яні і картонні ящики, коробки, кошики, сухотарні діжки при температурі $0-5^{\circ}\text{C}$. *Ікру* перевозять в ящиках (банкова) і діжках (бочкова) в рефрижераторних вагонах і автомобілях.

Живу рибу перевозять у спеціальних вагонах з пристроями для аерації води та приміщеннями для проїзду супровідників. Баки заповнюють водою на 80 % їх висоти. Температуру підтримують від 2 до 4°C . *Живих раків* перевозять у плетених кошиках і ящиках в ізоtermічних вагонах з охолодженням. Термін між їх виловом і завантаженням не має перевищувати 36 годин.

Умови транспортування плодоовочевої продукції залежать від ряду факторів: здатності до зберігання, умов вирощування, стиглості та ін. Для успішного перевезення плодів та овочів вони мають бути ретельно упаковані у тару за видами. Найкраще укладання плодів та овочів у тару таке, за якого вони не торкаються один одного. Для цього застосовують різні пакувальні матеріали: поліетиленові плівки, стружку, папір та ін. Тару розміщують у вагонах і кузовах так, щоб кожне вантажне місце омивалося потоком повітря. Кожне вантажне місце зміцнюють для уникнення механічних пошкоджень плодів та овочів. Слід підтримувати сталими температуру і вологість. Граничні терміни перевезення свіжих плодів та овочів залежать від виду транспорту, виду плодів та овочів, пори року і становлять, наприклад, для літніх яблук в ізоtermічних вагонах 20 діб, літніх груш – 12, сливи – 16, суниці – 3, капусти – 15–18, картоплі ранньої – 14, пізньої – 20 діб.

В загальному обсязі холодильних перевезень консервна продукція становить близько 20 %. Рибні та м'ясні консерви перевозять рівномірно протягом усього року. Плодоовочеві консерви мають чітко виражену сезонність перевезень. Залежно від пори року, консерви перевозять в ізоtermічних вагонах без утеплення, з утепленням, опалюваних.

Через малий термін зберігання молока і молочних продуктів їх перевезення має бути чітко організоване. Найбільшу частину молока перевозять у спеціальних цистернах, вершкове масло – у ящиках і діжках, топлоне – в діжках.

Залежно від температури транспортування масло укладають щільно (при температурі не вище як -20°C), вертикальним чи шаховим способом. Сири упаковують у ящики з дощок чи дерев'яні барабани. Великі сири можна перевозити без тари на стелажах. Температуру підтримують від 0 до 5°C . Не обмежують терміни перевезення в ізоtermічних вагонах масла вершкового, сирів; для молока цей термін – не більше як 3, кисломолочних сирків – 2 доби.

Виноградні та плодово-ягідні вина перевозять у стандартних діжках і пляшках, упакованих в ящики. В зимовий період бочкові вина перевозять у транспорті з опаленням чи без опалення (у цьому разі для уникнення розриву діжки не доливають на 10–15 %). Вина перевозять також у цистернах-термосах і в ізотермічних вагонах, це дає змогу краще використовувати вантажопідйомність транспорту. Пиво упаковують у пляшках у ящики чи розливають у кеги і перевозять у рефрижераторних вагонах. Пляшки з мінеральними водами можна перевозити насипом з перекладанням пляшок сіном чи соломкою.

14.3. Правила приймання транспортованих продуктів

Продукти, призначенні для перевезення, мають повністю відповідати вимогам ДСТУ. Забороняється приймати продукти, упаковані в нестандартну, неміцну і забруднену тару. Супровідні документи на транспортовані продукти мають бути оформлені повністю і технічно грамотно. Прийняті для перевезення продукти не можна залишати на платформах чи майданчиках, їх слід негайно подавати до холодильного транспорту. Він має бути технічно справним, відповідати санітарним вимогам і бути підготованим до завантаження продуктами: мають бути перевірені стан охолодних пристроїв, щільність зачинення дверей, електропроводка, наявність рейок і решіток.

Готувати камери холодильного транспорту до приймання нової партії вантажів слід одразу після вивантаження попередньої партії продуктів. Камери холодильного транспорту мають бути чистими, без запаху і періодично санітарно оброблятися. Підготовка камер холодильного транспорту до завантаження закінчується встановленням у них потрібного температурного режиму.

Для успішного транспортування продуктів велике значення має правильність розміщення вантажів у холодильному транспорті. Під час транспортування заморожених вантажів їх слід укласти щільно, що дає змогу уникнути коливань температури і шкідливих впливів теплонадходжень на всю партію вантажів. Охолоджені вантажі, навпаки, слід розміщати так, щоб між окремими партіями залишалися проміжки для проходження циркулюючого повітря. Швидкопсувні вантажі слід подавати на завантаження у такому вигляді:

упакованими (в тарі – ящиках різних типів з різних матеріалів, картонних коробках, кошиках, бідонах, в'язках, мішках). Тара має бути стандартною і справною. Тара, що не відповідає стандартам, у будь-якому разі має забезпечувати збереження вантажу.

неупакованими (м'ясо всіх видів худоби – в тушах, напівтушах і четвертинах, овочі й бахчові – розсипом).

На час приймання вантажу до перевезення мають бути готові завантажувальна станція і вантажовідправник. Відправник заздалегідь оформлює всі документи, а працівники станції переконуються в тому, що відправлення заплановане. Маючи право на завантаження, відправник оформлює накладну. Разом з накладною відправник надає станції посвідчення про якість швидкопсувного вантажу, датоване днем завантаження у вагон, із зазначенням його номера у відповідній графі накладної. У посвідченні зазначаються: точне найменування, вид, категорія, сорт,

відповідність якісного стану продукції ГОСТ або ДСТУ із зазначенням їх номерів, призначення (торгівельна мережа, громадське харчування, промислова переробка), вид тари й упаковки, граничний термін зберігання продукту за належних умов, термін транспортабельності вантажу (у добах) з урахуванням фактичного стану продукту перед завантаженням у вагон, найменування та адреси відправника й одержувача, номер і вид транспортного засобу, у якому буде перевозитися вантаж. Крім цього, у посвідченні про якість вантажу мають бути такі дані:

для охолоджених, підморожених і заморожених вантажів – температура продукту під час завантаження та дата заморожування (охолодження) або виробництва;

для м'яса охолодженого та остиглого – додатково дата забою худоби;

для ковбас варено-копчених і напівкопчених – дата й час виробництва;

для дріжджів – дата закінчення технологічного процесу виробництва та пакування, вологість, піднімальна сила, кислотність і стійкість;

для маргарину (крім розфасованого в тару із ПХВ) – твердість і температура;

для свіжої плодоовочевої продукції – найменування ботанічного, помологічного або ампелографічного сорту, товарного сорту, дата збирання та пакування (у разі зберігання до відправлення – дата перебирання), кількість упакованих одиниць, загальна маса брутто та нетто (в кг), номер сертифіката щодо наявності токсикантів і дата його видачі, а також: для винограду – кислотність і цукристість; для бананів свіжих – температура в м'якоті плоду та тип пакувальної полімерної плівки;

для риби охолодженої – дата й час пакування;

для риби холодного копчення – дата й час закінчення технологічного процесу виготовлення та пакування;

для свіжої риби та риборозплідного матеріалу (мальків) – тривалість (у год) періоду витримки в рибнику до завантаження у вагон;

для солоної риби та оселедців – відсоток вмісту солі.

Посвідчення про якість завіряється підписом відповідальної особи та печаткою відправника. Після зважування дані про вантаж заносять до книги приймання вантажів до відправлення. Після завантаження до камер холодильного транспорту приймально-здавальник дороги здійснює зовнішній огляд вантажу. Прийнятий до перевезення вантаж маркує відправник і станція. Після завантаження і огляду транспорт пломбують.

14.4. Зберігання харчових продуктів у споживача

За дотримання вимог до вироблення, зберігання і транспортування харчова цінність продуктів, законсервованих за допомогою холоду, добре зберігається, і такі продукти, пройшовши всі ланки холодильного ланцюга, надходять до споживача у відмінному стані. Холодильне зберігання продуктів у споживача є останньою ланкою, від його умов залежать кінцевий стан та якість споживаного продукту.

Під час продажу в роздрібній торговій мережі термічний стан продукту має відповідати оптимальним умовам зберігання. Так, температура продуктів особливо швидкопсувних має бути не вищою як 6 °С, а заморожених (призначених для зберігання у домашніх умовах) згідно з рекомендаціями МІХ – не вищою як –15 °С.

Такі продукти можуть бути використані не лише для безпосереднього кулінарного оброблення, а й для зберігання у споживача впродовж рекомендованих термінів за певних режимів у разі наявності відповідної холодильної техніки.

Під час транспортування до місця споживання такі продукти підлягають впливу підвищеної температури. Тому для перевезення охолоджених чи заморожених продуктів до споживача варто користуватися спеціальними транспортними засобами – від одноразових термоізованих паперових сумок до термоізованих пінополіуретанових контейнерів і контейнерів з термоелектричним охолодженням різного призначення і об'єму. За відсутності таких засобів, час перевезення продуктів слід скоротити, а продукти слід загорнути в декілька шарів пакувального матеріалу і розмістити в центрі, серед інших покупок, бо навіть незначні зміни температури різко обмежують потенціальний термін зберігання їх у споживача.

Під час зберігання продуктів у побутовому домашньому холодильнику основну увагу слід звернути на їх раціональне розміщення. Вирішення цього питання спрощується за наявності сучасного холодильника, що має декілька камер (зон) зберігання продуктів з мікропроцесорним керуванням. За використання одно-, двокамерних холодильників застарілих конструкцій слід дотримуватися певних правил, що дасть змогу не лише зберегти якість продуктів, а й знизити споживання електроенергії холодильним агрегатом.

Раціональне розміщення продуктів у холодильнику дає змогу збільшити його місткість, зменшити усихання продуктів і запобігти втраті їх якості. Для цього підбирають спеціальний посуд (лотки, банки, коробки, пакети тощо) найзручнішої (квадратної чи прямокутної) форми, що дає змогу розмістити продукти максимально щільно. Бажано також, щоб продукт займав не менше як 80 % місткості посуду.

Під час зберігання охолоджених продуктів слід раціонально використовувати весь діапазон температур, що формується в камері холодильника. Мінімальна температура (0...–2 °C) створюється під низькотемпературним відділенням і поряд з випарником. У нижній частині холодильної камери температура може сягати 6–7 °C. Це дає змогу найраціональніше розміщати продукти, забезпечуючи сприятливі умови для їх зберігання. Так, охолоджене м'ясо, птицю, рибу для короткострокового зберігання бажано розміщати на верхній полиці. Там також добре зберігаються сири, вершкове масло і більшість жирів. Фрукти й овочі, навпаки, рекомендується зберігати в ізованих місткостях, встановлених у нижній частині холодильної камери. Заповнюючи місткості плодоовочевою продукцією, слід групувати її за видами (овочі, фрукти, ягоди, зелень), оскільки режими їх зберігання різні. Соління і маринади досить добре зберігаються на нижній полиці холодильника. Там само впродовж нетривалого часу (від кількох годин до 1–2 діб) можна зберігати і кулінарно оброблені страви поточного споживання. На внутрішньому боці дверцят холодильника є, як правило, спеціальні форми і відділення для зберігання певних продуктів – молока, яєць, напоїв тощо.

З метою дотримання принципу товарного сусідства продукти, що мають гострі, специфічні запахи (риба, сир, копченості тощо), а також легко їх сприймають (вершкове масло, сир кисломолочний, сметана, креми тощо) слід зберігати в герметичному посуді чи упаковці. Застосування такої упаковки бажане практично

для всіх продуктів з метою зниження усихання.

Заморожені продукти зберігають у низькотемпературному відділенні (-18°C і нижче) упакованими у герметичну упаковку для уникнення надмірної усушки в процесі зберігання. Протягом нетривалого часу заморожені продукти можна зберігати в низькотемпературному відділенні при температурі не вище як -12°C .

Усі заморожені продукти слід зберігати з урахуванням порційності їх споживання, оскільки термін зберігання розморожених і повторно заморожених продуктів скорочується в декілька разів.

Рекомендовані терміни зберігання м'ясопродуктів при температурі в холодильній камері *при температурі 4°C* , год: м'ясо охолоджене будь-якої жирності (яловичина, свинина, птиця), напівфабрикати, печінка, нирки – до 24; м'ясний фарш – до 8; м'ясні вироби і страви готові, термооброблені – до 48. В морозильному відділенні при температурі *не вище -18°C* м'ясо і м'ясопродукти (яловичина, баранина) можна зберігати, міс: нежирне м'ясо великими шматками (по 0,5–1 кг) – до 10, дрібними шматками – до 7, у вигляді фаршу, – до 6, печінку, нирки – до 6; м'ясо і м'ясопродукти натуральні зі свинини: великі шматки – до 5; дрібні – до 4, фарш, котлети – до 3; м'ясо птиці нежирне – до 6, жирне – до 4.

Свіжу рибу та морепродукти дозволяється зберігати в холодильнику не більше доби за обов'язкового теплового кулінарного оброблення перед вживанням. Рибу і морепродукти у замороженому вигляді *при температурі -18°C* можна зберігати впродовж 4 міс – нежирну продукцію і 2 міс – жирну.

Солоні і мариновані риба в герметично закритій тарі може зберігатися при $0-4^{\circ}\text{C}$ впродовж 4 міс, а риба гарячого копчення за тих самих умов – не більше 2 діб.

Молоко і молочні продукти слід зберігати відповідно до рекомендацій на їх упаковці. Термін зберігання вершкового масла при $0-4^{\circ}\text{C}$ становить 15–20 діб. Особливої уваги вимагає зберігання сиру, бо за підвищеної вологості без упаковки він на четверту добу може запліснявіти, а у паперовій упаковці швидко усихає.

Яйця в домашньому холодильнику зберігають при температурі $0-6^{\circ}\text{C}$ впродовж 15–20 діб, періодично оглядаючи їх на наявність дефектів та пошкоджень.

Швидкозаморожену плодоовочеву продукцію при -18°C можна зберігати від кількох місяців до одного року, залежно від її виду.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть призначення та види холодильного транспорту.
2. Як перевозять заморожене та охолоджене м'ясо? Як перевозять морожену, солону, в'ялену, копчену рибу? Як перевозять живу рибу та раків?
3. У чому полягають особливості перевезень холодильним транспортом молочних продуктів, вин, пива та безалкогольних напоїв?
4. Опишіть порядок приймання транспортованих продуктів.
5. Якими способами доцільно транспортувати охолоджені та заморожені продукти від місця продажу до споживача і чому?
6. Охарактеризуйте режими та термін зберігання харчових продуктів у побутовому холодильнику.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Головкин Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов.— М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984.— 240 с.
2. Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів: Навч. посіб. К: НУХТ, 2007.— 335 с.

Додаткова

3. Азов Г.М, Бурмакин А.Г. Гисин И.Б., Дезент Г.М. Справочник по производству мороженого.— М.: Пищ. пром-сть, 1970.— 432 с.
4. Бабакин Б.С. Электротехнология в холодильной промышленности.— М.: Агропромиздат, 1990.— 199 с.
5. Балан Е. Ф. Бедин Ф. П. Чумак Н. И. Технология хранения растительного сырья: Физиологические, теплофизические и транспортные свойства.— Одесса: АстроПринт, 2002.— 282 с.
6. Баль-Прилико Л.В., Задорожный В.И., Онищенко Л.В. Влияние различных факторов на срок и качество хранения мясных продуктов // Мясное дело.— 2006.— №8.— с. 53–55.
7. Бараненко А.В., Куцакова В.Е., Борзенко Е.И., Фролов С.В.. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов: В 3-х ч.— М.: КолосС, ч.1 : 2001.— 136 с.; ч.2 : 2003.— 240 с.; ч.3 : 2004.— 249 с.
8. Бродянский В.М. От твердой воды до жидкого гелия (история холода). — М.: Энергоатомиздат, 1995.— 336 с.
9. Гениальная имитация. Производство продуктов на основе суrimi // Продиндустрия.— 2005.— №12; 2006.— №1.
10. Головкин Н.А., Чижов Г.Б. Холодильная технология пищевых продуктов.— М.: Пищепромиздат, 1956.— 332 с.
11. Домарецький В.А., Остапчук М.В. Українець А.І. Технологія харчових продуктів: Підручник.—К.: НУХТ, 2003.— 572 с.
12. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарного виробництва. — К.: Руслана, 1998.— 415 с.
13. Копейковский В. М. Технология производства растительных масел. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983.— 416 с.
14. Лар'яновський С. Ю., Гарачук В. К., Гриник О. І. Безперервний холодильний ланцюг // Холод М+Т.—2005, №2.— с. 24–29.
15. Лашутина Н.Г. Холодильная техника в мясной и молочной промышленности.— М.: Агропромиздат, 1989.— 176 с.
16. Мальцев П.М. Технология бродильных производств. Общий курс. — М.: Пищ. пром-сть, 1980.— 560 с.
17. Мойрер Х., Шварц В. Ланцюг охолодження риби // Холод М+Т.— 2004.— №2.— с. 34–38.
18. Онищенко В. П. Вторинні холодоносії // Холод М+Т.—2005, №5 с. 26–31
19. Применение холода в пищевой промышленности. Холод в рыбной и пищевой промышленности: Справочник.— М.: Пищ. пром-сть, 1979.
20. Скорченко Т. А., Поліщук Г.Є., Грек О.В., Кочубей О.В. Технологія

незбираномолочних продуктів: Навч. посібник / За ред. Т.А. Скорченко.– Вінниця: Нова книга, 2005.– 264 с.

21. *Технология пищевых производств*: Учебник для вузов / Л.П. Ковальская , И.С. Шубин , Г.М. Мельник и др. – М.: Колос, 1999.– 752 с.

22. *Технологія консервування плодів та овочів, м'яса і риби* / За ред. Б.Л.Флауменбаума. – К.: Вища шк., 1995.– 302 с.

23. *Холодильная техника и технология*: Учебник / Под ред. А.В. Руцкого. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 286 с.

24. *Цинман М.М., Янюк В.Я.* Холодильники для фруктов.– М.: Пищевая промышленность, 1969.– 202с.

25. *Цуранов О. А., Крысин А. Г.* Холодильная техника и технология.– СПб.:Лидер, 2004.– 448 с.

1. Теплофізичні властивості продуктів та матеріалів

Д1.1. Теплофізичні характеристики харчових продуктів

Продукти	Вміст води, %	Кріоскопічна температура, °C	Густина, кг/м ³	Питома теплоємність продукту, кДж/(кг·K)		Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K)	Теплота фазового переходу, кДж/кг
				охолодженого	замороженого		
1	2	3	4	5	6	7	8
Буряк		−1,0...−3,3	1050	3,67		0,60	
Картопля	78	−0,94...−4,7	986	3,43	1,80	0,58	260
Морква		−1,0...−3,3	1040	3,91		0,60	
Огірки	96	−0,6		4,06	2,08		322
Селера	94	−0,6		3,98	2,01		314
Шпинат	92	−0,2		3,94	2,01		306
Квасоля	89	−0,6		3,81	1,97		297
Гриби	92	−0,8		3,89	1,97		310
Зелений горошок	74	−0,6...−1,2	1060	3,31	1,76	0,37	247
Хліб	49	—		2,85	—		163
Абрикоси	87	−1,3		3,77	1,93		289
Яблука	84	−1,4...−2,1	880	3,64	1,88	0,43	281
Груші		−1,8...−2,8	1010	3,84		0,51	
Персики	89	−1,0		3,68	1,93		297
Сливи	86	−1,0		2,68	1,88		286
Чорна смородина	88	−1,0		3,68	1,88		293
Полуниця	90	−0,6		3,85	1,76		301
Кукурудза	74	−0,6		3,31	1,76		247
Цвітна капуста	92	−0,7		3,89	1,97		306
Маргарин	16	−1,0	960	1,34	1,05	0,21	54
Масло вершкове	16	−0,9...−1,5	890	1,38	1,05	0,23	54
Жир яловичий	65	−2,0		3,52	1,80		218

1	2	3	4	5	6	7	8
Жир баранячий	65	-2,0		3,18	2,14		251
Жир свинячий	38	-2,0		2,26	1,34		126
Молоко незбиране	88	-0,6	1027	3,89	2,09	0,45	293
Вершкові креми	58-66	-2,7		3,27	1,88		193-222
Сир сичужний	38	-5,3...-9,8	1080	2,63		0,35	126
Сир кисломолочний		-0,5...-1,0	1050	3,90	1,21	0,53	
Морозиво		-1,0	1110		3,64	0,46	
Риба	62-85	-	1020	3,35	1,67	0,46	209-285
Тріска	78	-2,0		3,43	1,80		260
Тунець	70	-2,0		3,18	1,72		234
Ікра	50-56	-1,0...-3,0	900	2,93	1,3	0,30	167-184
М'ясний сік		-1...-1,5					
Кров		-0,55 ...-0,56					
Птиця	74	-2...-2,5	1075	3,31	1,55	0,47	247
Яйця, жовток		-0,65					
Яйця, білок		-0,45	1083	3,23		0,43	
Яловичина		-0,6...-1,3	1080	3,55		0,48	
Баранина		-0,8...-1,1	1060	3,18		0,50	
Свинина		-0,6...-1,3	1070	3,35		0,46	
Ковбаса варена		-1,2...-3,3	1012	3,85		0,50	

Д1.2.Теплофізичні характеристики деяких матеріалів

Матеріали, продукти	ρ , кг/м ³	c , Дж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$a \cdot 10^8$, (м ² /с)
Пінопласт ПВ-1 і ПХВ-1	125	1,256	0,064	40,7
Сталь вуглецева	7820	0,425	46,5	1400
Чавун	7200	0,502	58,2	1156
Алюміній	2600	0,84	204	10120
Мідь	8500	0,419	407	11430
Лід ($t = 0$ °С)	920	2,12	2,21	1,133
Лід ($t = -20$ °С)	920	1,96	2,44	1,353
Вода	1000	4,19	0,58	13,8

Д1.3.Питома теплота сублімації льоду

Температура, °С	Тиск насичення водяної пари, Па	Питома теплота сублімації льоду r_s , кДж/кг
-40	12,9	2839
-20	103,6	2838
-10	260,1	2837
-5	401,9	2836
0	610,8	2834

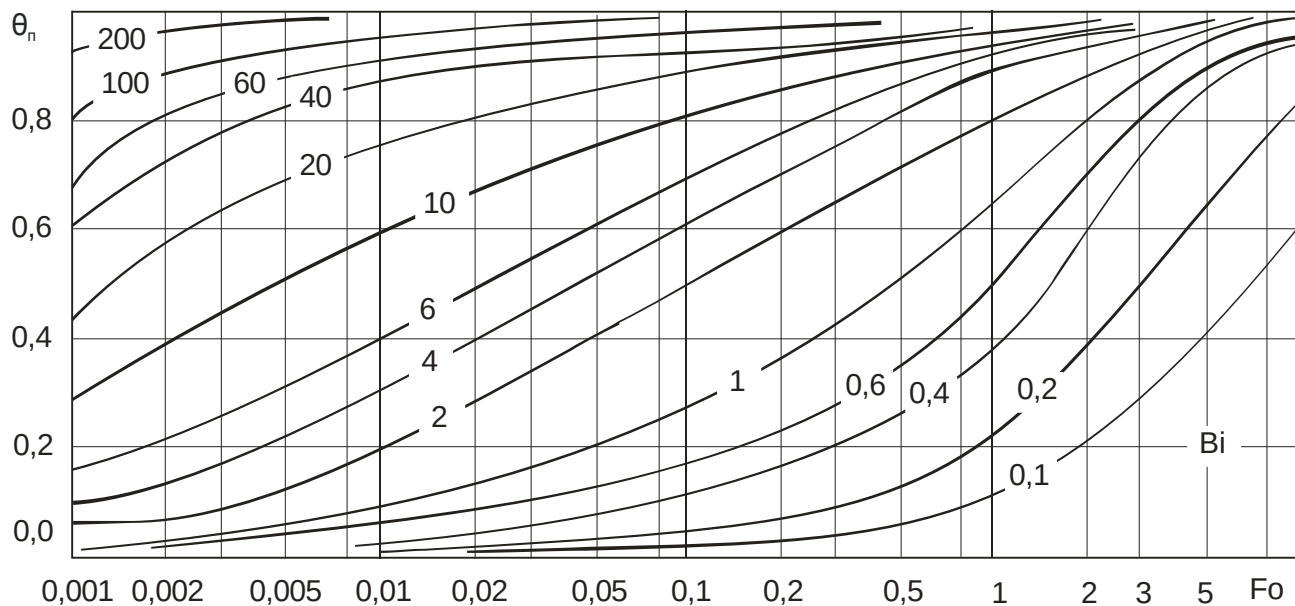
Д1.4. Теплофізичні характеристики пакувальних та допоміжних матеріалів

Матеріали	Товщина шару δ , мм	λ , Вт/(м·К)	Термічний опір δ/λ , (м ² ·К)/Вт
Папір обгортковий	—	0,07	—
Картон гофрований	—	0,18	—
Папір парафінований	0,27	0,076	0,0036
Пергамент подвійний вощений	—	0,071	—
Картон алюмінований чи вкритий воском	0,54	0,09	0,006
Обгортка з алюмінієвої фольги у чотири шари	0,01	204	0,000000196
Алюмінієва форма	2,0	204	0,0000098
Форма з нержавіючої сталі	1,0	15,1	0,000066
Стальні мембрани швидкоморозильних апаратів	4,0	15,1	0,000264
Чавунні плити швидкоморозильних апаратів	6,0	58,2	0,000103
Целофан	0,028	0,042	0,00067
Поліхлорвінілова плівка	0,25	0,104	0,0025
Поліетиленова плівка	0,04	0,29	0,000138
Повітряний прошарок між упаковкою і продуктом	0,90	0,021	0,043

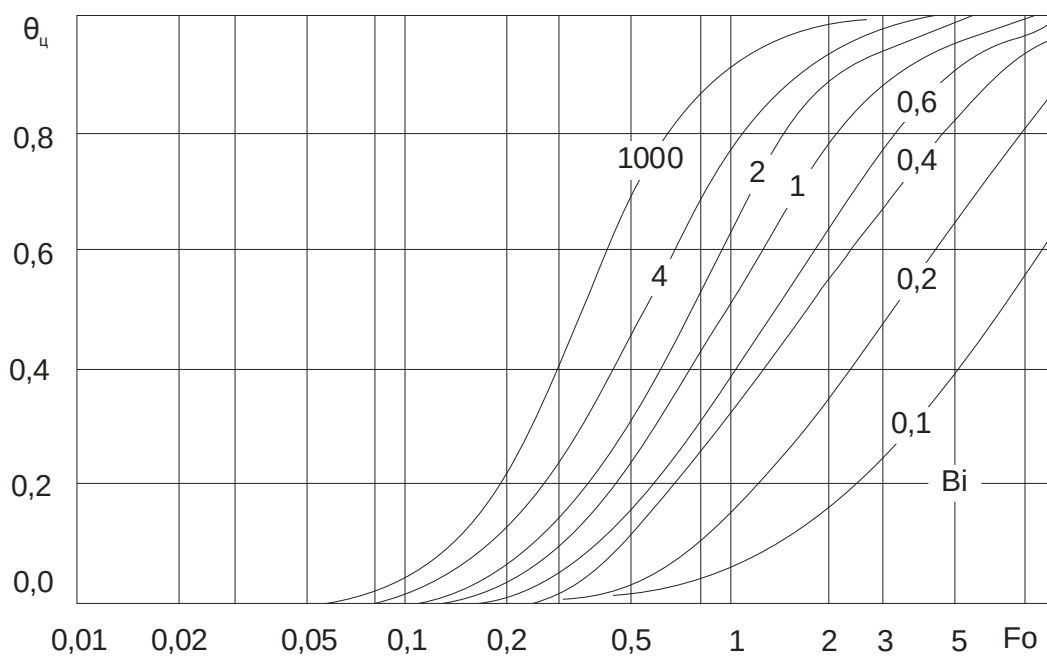
2. Питомі ентальпії деяких харчових продуктів, кДж/кг

Температура, °С	Яловичина, птиця	Баранина	Свинина	Субпродукти м'ясні	Риба пісна	Риба жирна	Яйця у шкарапці	Масло вершкова	Молоко незбиране	Кефір	Сметана	Сир кисло- молочний	Сир сичужний	Морозиво вершкове	Виноград, абри- коси, вишня	Інші фрукти та ягоди
-20	0	0	0	0	0	0	—	0	0	—	—	0	—	0	0	0
-18	4,6	4,6	4,6	5,0	5,0	5,0	—	3,8	5,5	—	—	9,4	—	7,1	7,5	6,7
-15	13,0	12,6	12,2	13,8	14,3	14,3	—	10,1	14,3	—	—	26,8	—	19,7	20,6	17,2
-12	22,2	21,8	21,4	24,4	24,8	24,4	—	17,6	25,2	—	—	41,2	—	31,8	36,5	29,8
-10	36,2	29,8	28,9	33,2	33,6	32,7	—	23,5	32,7	—	—	53,2	—	46,9	49,8	38,5
-8	39,4	38,5	34,8	43,1	43,5	42,3	—	29,3	42,3	—	—	63,7	1,3	62,1	63,5	51,0
-5	57,3	55,6	64,4	62,8	64,0	62,5	—	40,6	62,8	—	—	85,9	5,5	105,3	116,0	82,9
-3	75,3	74,0	73,3	87,9	88,4	85,5	227,1	50,5	88,7	—	—	103,0	11,3	178,8	202,2	130,0
-2	98,8	95,8	91,6	109,6	111,6	106,2	230,2	60,4	111,2	—	—	—	14,3	221,0	229,0	211,0
-1	185,5	179,5	170,0	204,0	212,2	199,8	233,8	91,6	184,2	—	—	192,6	16,7	224,4	232,6	267,9
0	232,2	221,0	211,8	261,0	265,8	249,0	237,0	95,0	317,8	0	0	299,1	19,7	227,4	235,8	271,7
1	235,5	227,0	214,7	264,5	269,5	252,0	240,0	98,8	322,8	3,2	3,8	302,2	22,7	230,8	239,5	274,3
2	238,2	230,0	217,8	268,3	272,9	256,0	243,3	101,4	326,8	8,0	5,9	205,5	25,2	234,0	242,9	279,0
4	245,5	236,3	224,0	274,3	280,0	262,6	249,8	106,5	334,4	15,9	13,0	313,0	31,0	240,9	250,2	286,7
8	248,2	249,0	235,8	289,2	293,9	277,0	262,4	121,4	350,7	31,4	29,3	326,9	42,3	251,4	264,5	302,0
10	264,5	253,3	241,7	290,0	301,0	283,0	268,7	129,8	358,5	39,4	36,8	334,0	47,7	264,0	271,8	308,8
12	270,8	261,4	248,2	302,2	308,0	290,0	274,3	138,6	366,0	47,3	41,4	344,3	53,2	267,9	278,6	317,0
15	280,4	271,0	256,8	312,8	314,4	300,1	284,4	156,3	378,0	59,0	55,2	351,5	61,5	277,8	289,6	328,0
20	296,8	286,7	272,5	330,0	336,0	317,4	300,0	182,8	398,0	78,6	73,7	369,4	75,7	294,8	307,0	346,5
25	312,0	301,8	287,7	348,0	353,6	334,4	316,2	204,2	418,0	98,4	95,8	387,2	89,6	311,0	325,5	365,6
30	329,0	314,0	301,8	366,0	371,0	351,5	331,4	321,4	437,0	118,0	110,6	404,7	103,3	328,0	343,0	384,8
35	345,0	334,0	317,8	384,0	388,0	369,0	347,5	240,0	458,0	—	—	—	—	344,6	360,5	403,0
40	361,0	349,8	332,2	401,0	406,0	385,0	362,7	253,6	477,0	—	—	—	—	361,4	378,0	421,0

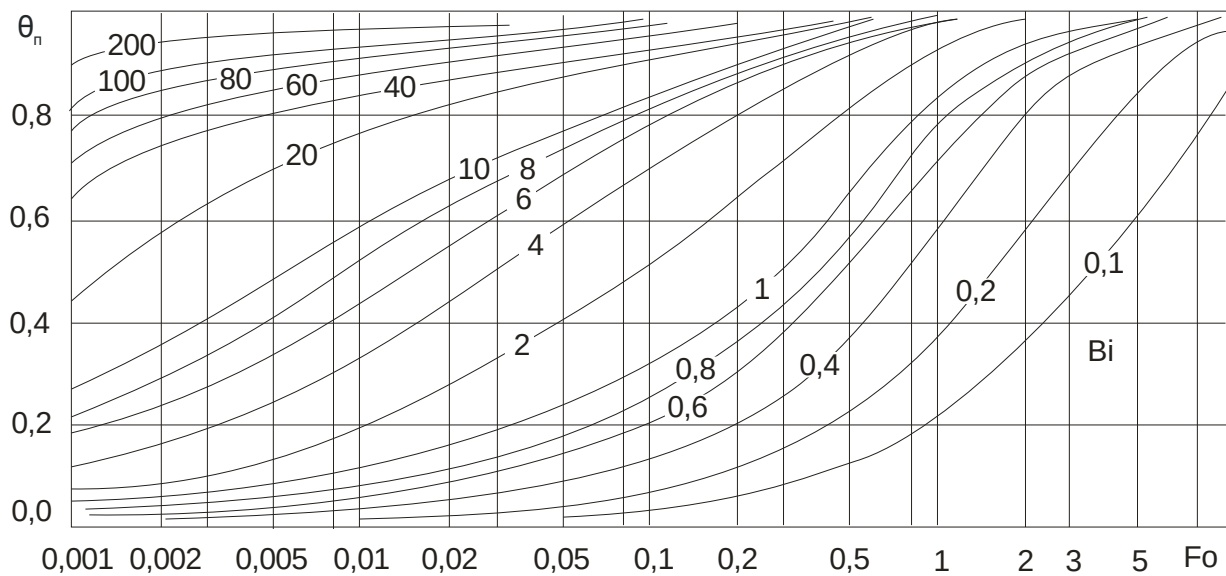
3. Діаграми для розрахунку процесу охолодження.



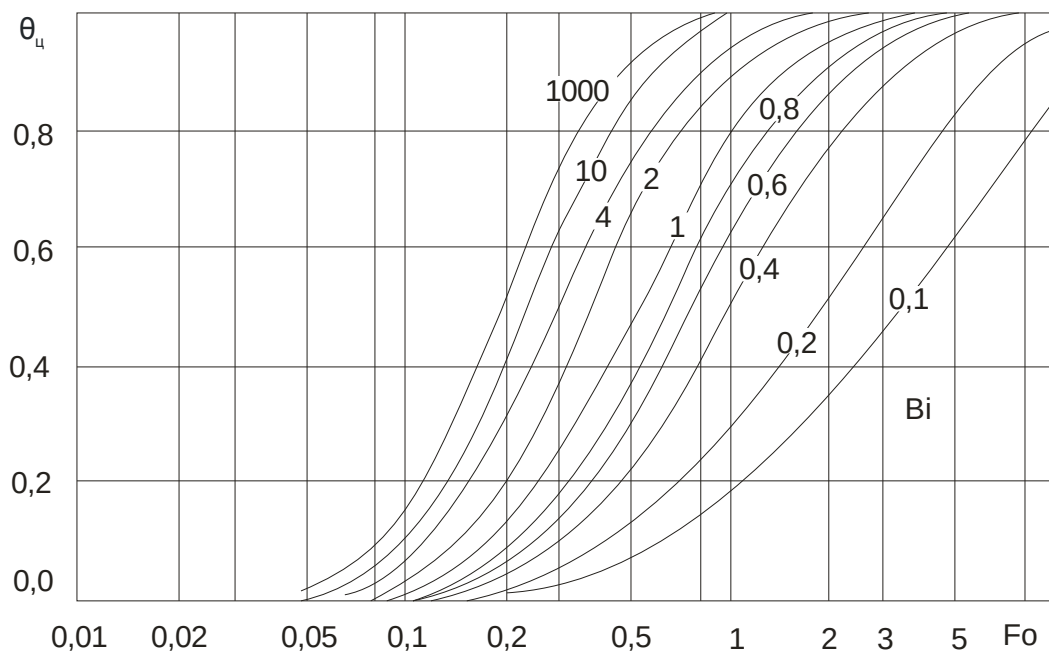
ДЗ.1. Безрозмірна температура поверхні пластини



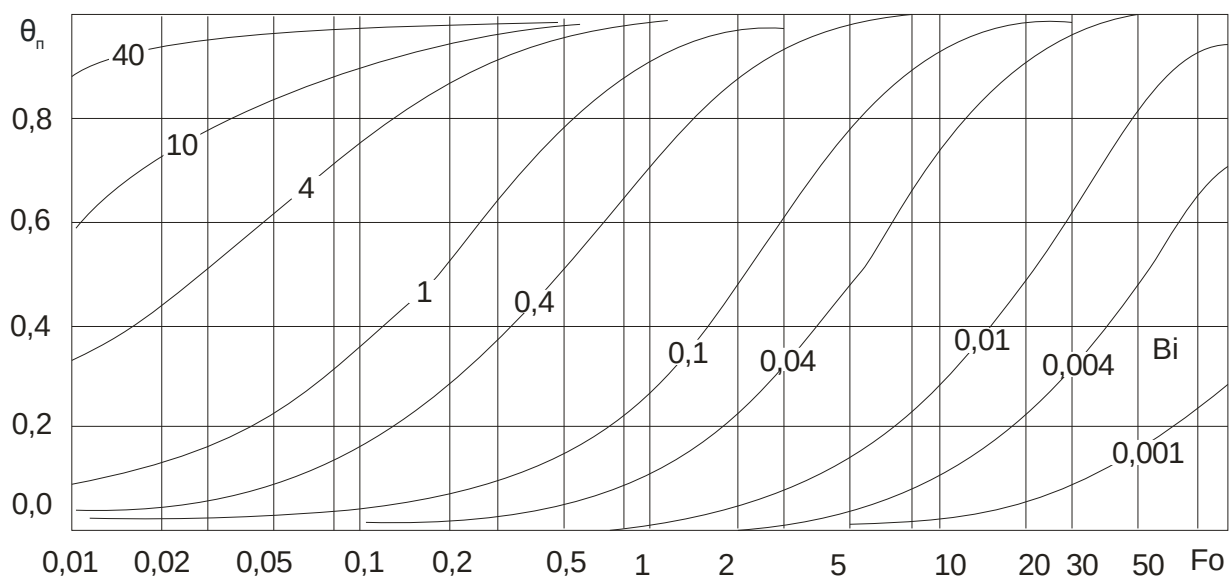
ДЗ.2. Безрозмірна температура центру пластини



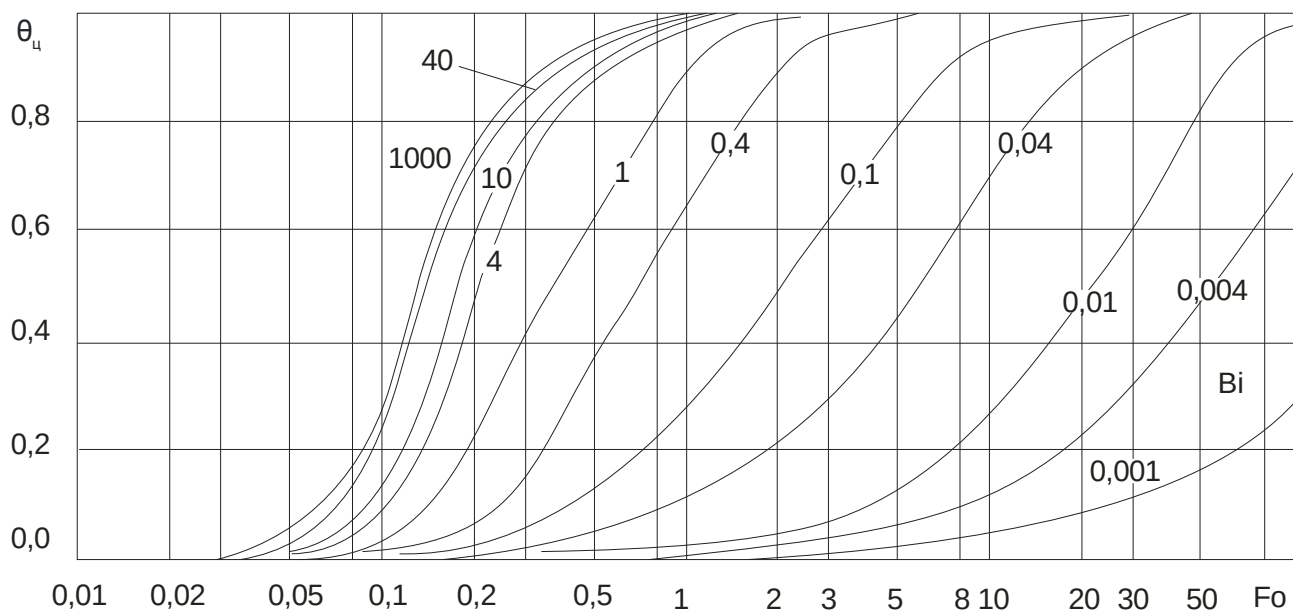
ДЗ.3. Безрозмірна температура поверхні циліндра



ДЗ.4. Безрозмірна температура центру циліндра



ДЗ.5. Безрозмірна температура поверхні кулі



ДЗ.6. Безрозмірна температура центру кулі

4. Значення коефіцієнта A_{α}

k	Bi															
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2	3	5	10	∞
0	1,016	1,031	1,045	1,058	1,070	1,081	1,092	1,102	1,111	1,119	1,154	1,178	1,210	1,240	1,262	1,273
0,1	1,017	1,033	1,048	1,062	1,075	1,088	1,099	1,110	1,120	1,129	1,167	1,195	1,231	1,265	1,290	1,303
0,2	1,018	1,035	1,051	1,066	1,081	1,094	1,106	1,118	1,129	1,139	1,181	1,212	1,252	1,291	1,319	1,334
0,3	1,019	1,037	1,054	1,070	1,085	1,100	1,113	1,125	1,137	1,148	1,194	1,228	1,273	1,317	1,349	1,365
0,4	1,020	1,039	1,057	1,074	1,090	1,105	1,119	1,133	1,146	1,157	1,207	1,245	1,294	1,343	1,379	1,397
0,5	1,020	1,041	1,060	1,078	1,094	1,111	1,126	1,140	1,154	1,166	1,220	1,261	1,315	1,369	1,409	1,430
0,6	1,021	1,042	1,062	1,081	1,099	1,116	1,132	1,147	1,161	1,175	1,233	1,277	1,336	1,395	1,440	1,463
0,7	1,022	1,044	1,065	1,084	1,103	1,121	1,138	1,154	1,169	1,183	1,245	1,292	1,357	1,422	1,471	1,497
0,8	1,023	1,045	1,067	1,087	1,107	1,125	1,143	1,160	1,176	1,191	1,257	1,308	1,378	1,449	1,503	1,531
0,9	1,023	1,047	1,069	1,090	1,111	1,130	1,149	1,166	1,183	1,199	1,269	1,323	1,398	1,476	1,535	1,566
1	1,024	1,048	1,071	1,093	1,114	1,134	1,154	1,172	1,190	1,207	1,281	1,338	1,419	1,503	1,568	1,602
1,1	1,025	1,050	1,073	1,096	1,118	1,139	1,159	1,178	1,197	1,215	1,292	1,353	1,440	1,530	1,601	1,638
1,2	1,026	1,051	1,075	1,098	1,121	1,143	1,164	1,184	1,203	1,222	1,303	1,368	1,460	1,558	1,635	1,676
1,3	1,026	1,052	1,077	1,101	1,124	1,147	1,169	1,189	1,210	1,229	1,314	1,383	1,481	1,586	1,669	1,713
1,4	1,027	1,053	1,079	1,103	1,127	1,151	1,173	1,195	1,216	1,236	1,325	1,397	1,501	1,614	1,704	1,752
1,5	1,027	1,054	1,080	1,106	1,130	1,154	1,178	1,200	1,222	1,242	1,335	1,411	1,522	1,642	1,739	1,791
1,6	1,028	1,055	1,082	1,108	1,133	1,158	1,182	1,205	1,227	1,249	1,346	1,425	1,542	1,671	1,775	1,832
1,7	1,028	1,056	1,084	1,110	1,136	1,161	1,186	1,210	1,233	1,255	1,356	1,439	1,562	1,700	1,812	1,873
1,8	1,029	1,057	1,085	1,112	1,139	1,165	1,190	1,215	1,238	1,261	1,366	1,453	1,583	1,729	1,849	1,914
1,9	1,029	1,058	1,087	1,114	1,141	1,168	1,194	1,219	1,244	1,267	1,375	1,466	1,603	1,758	1,887	1,957
2	1,030	1,059	1,088	1,116	1,144	1,171	1,198	1,224	1,249	1,273	1,385	1,479	1,623	1,787	1,925	2,000

5. Коефіцієнт випаровування вологи з поверхні продуктів

Продукт	Швидкість руху повітря у камері, м/с	$\beta \cdot 10^{10}$, кг/(Па·м ² ·с)
1	2	3
Вода	0,2	89–98
Лід	0,2	127,1
Морожене м'ясо 1 категорії	0,8	62,5–81,2
2 категорії	0,8	106,2
Яйця в коробках	0,2	2,09
Яблука у ящиках	0,2	4,16
Заморожені неупаковані продукти	–	65–71

6. Значення коефіцієнтів Р і R для розрахунку тривалості заморожування

Паралелепіпед розмірами L×b×δ (відведення теплоти від шести граней)

L/δ	b/δ	P	R	L/δ	b/δ	P	R
1,0	1,0	0,1667	0,0417	4,5	1,0	0,2250	0,0580
1,5	1,0	0,1875	0,0491		3,0	0,3215	0,0902
	1,5	0,2143	0,0604		4,5	0,3460	0,0959
2,0	1,0	0,2000	0,0525	5,0	1,0	0,2272	0,0584
	1,5	0,2308	0,0656		2,0	0,2941	0,0827
	2,0	0,2500	0,0719		5,0	0,3570	0,0982
2,5	1,0	0,2083	0,0545	6,0	1,0	0,2308	0,0592
	2,0	0,2632	0,0751		2,0	0,3000	0,0839
	2,5	0,2778	0,0792		4,5	0,3602	0,0990
3,0	1,0	0,2142	0,0556	8,0	6,0	0,3750	0,1020
	2,0	0,2727	0,0776		1,0	0,2353	0,0604
	3,0	0,3000	0,0849		2,0	0,3185	0,0865
3,5	1,0	0,2186	0,0567	8,0	4,0	0,3752	0,1037
	3,5	0,3181	0,0849		8,0	0,4181	0,1058
4,0	1,0	0,2222	0,0574	10,0	1,0	0,2381	0,0621
	2,0	0,2857	0,0808		2,0	0,3125	0,0865
	3,0	0,3156	0,0887		5,0	0,3846	0,1037
	4,0	0,3333	0,0929		10,0	0,4167	0,1101

Необмежена плита завширшки b і завтовшки δ (відведення теплоти від чотирьох граней)

b/δ	P	R	b/δ	P	R
1,00	0,2500	0,0625	3,00	0,3750	0,1009
1,25	0,2778	0,0738	4,00	0,4000	0,1063
1,50	0,3000	0,0812	5,00	0,4167	0,1097
1,75	0,3182	0,0868	6,00	0,4286	0,1122
2,00	0,3333	0,0907	∞	0,5000	0,1250
2,50	0,3571	0,0967			

Навчальне видання

Масліков Максим Михайлович

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Курс лекцій

для студентів спеціальності 6.090500

«Холодильні машини і установки»

денної та заочної форм навчання

Укладач Масліков Максим Михайлович

Підп. до друку 00.00.07. Обл.-вид. арк. Наклад пр. Вид. №. Зам. №
РВЦ НУХТ. 01033 Київ-33, вул. Володимирська, 68
www.book.nuft.edu.ua
Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.