

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**М. І. Погожих, В. О. Потапов, А. О. Пак, М. В. Жеребкін**

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ТЕХНІКА СУШІННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

Навчальний посібник

Харків  
ХДУХТ  
2016

УДК 664.8.047  
ББК 36.814.4  
Е62

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Г. М. Станкевич

Рекомендовано вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі, протокол № 7 від 25 лютого 2016 р.

**Енергоефективні** технології та техніка сушіння харчової сировини :  
Е62 навч. посібник / М. І. Погожих, В. О. Потапов, А. О. Пак, М. В. Жеребкін.  
– Х. : ХДУХТ, 2016. – 234 с.

Навчальний посібник орієнтовано на студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія». У посібнику проаналізовано сучасний стан техніки та технології сушіння харчової сировини; описано особливості тепло- і масообміну під час сушіння плодів та овочів, молока та молочних продуктів.

Призначено для загальної підготовки студентів у галузі технічних дисциплін, для оволодіння фундаментальними поняттями й теоріями класичної та сучасної технічної науки, формування широкого наукового світогляду.

УДК 664.8.047  
ББК 36.814.4

© Погожих М. І., Потапов В. О.,  
Пак А. О., Жеребкін М. В., 2016  
© Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, 2016

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. СТАТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ	10
1.1. Властивості вологого повітря як вологопоглинач та теплоносія	10
1.2. <i>I-d</i> -діаграма волого повітря	14
1.3. Побудова теоретичного процесу сушіння на <i>I-d</i> -діаграмі	16
1.4. Матеріальний баланс сушарок	18
1.5. Тепловий баланс сушарки	20
1.6. Аналітичний розрахунок процесу сушіння	24
1.7. Стан і структура вологи в сировині	29
1.8. Рівноважний вологовміст. Ізотерми сорбції та десорбції	34
Контрольні запитання	37
РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ	38
2.1. Основні положення нерівноважної термодинаміки	38
2.2. Система диференціальних рівнянь для процесу сушіння	41
2.3. Випаровування з вільної поверхні. Потенціал сушіння	43
2.4. Зовнішній тепло- та масообмін і їхній взаємний зв'язок під час сушіння	46
2.5. Механізми внутрішнього тепломасоперенесення в процесі сушіння	49
Контрольні запитання	51
РОЗДІЛ 3. КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ	52
3.1. Загальні положення. Способи визначення кінетики сушіння	52
3.2. Крива сушіння та її аналіз. Періодизація кривої сушіння	53
3.3. Математичні моделі кінетики вологовмісту. Рівняння для визначення тривалості сушіння та методики їх використання	55
3.4. Способи визначення кінетики температури сировини	60
3.5. Характер кінетики температури сировини під час сушіння	61
3.6. Рівняння для кінетики температури. Критерії Ребіндера, Косовича та їх фізичний сенс	62
Контрольні запитання	65
РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СУШАРОК І ЇХ ОСНОВНІ СХЕМИ	66
4.1. Загальна функціональна схема сушарок	66
4.2. Класифікація сушарок за способом підведення теплоти	67
4.3. Класифікація сушарок за схемами руху теплоносія	73
4.4. Камерні та шафові сушарки: їх схеми та загальні характеристики	74
4.5. Сушарки з різними схемами руху сировини	75
4.6. Сушарки з активною взаємодією сировини із сушильним агентом	78
Контрольні запитання	78

РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	79
5.1. Загальні функціональні схеми та алгоритми управління сушильним обладнанням	79
5.2. Вимірювання температури сушильного агента в зонах сушильної камери	81
5.3. Вимірювання витрат сушильного агента, пари, електроенергії. Розрахунок питомих витрат енергії	82
Контрольні запитання	84
РОЗДІЛ 6. ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	85
6.1. Загальна характеристика рослинної сировини як об'єкта сушіння	85
6.2. Зберігання сировини	87
6.2.1. Загальні прийоми зберігання плодів та овочів	87
6.2.2. Фізичні та біохімічні процеси в сировині під час зберігання	88
6.2.3. Технологія та техніка зберігання сировини	90
6.3. Попередня підготовка сировини до сушіння	91
6.3.1. Загальна характеристика технологічних процесів попередньої підготовки	91
6.3.2. Операції транспортування та миття сировини	92
6.3.3. Операції очищення та різання сировини	104
6.3.4. Бланшування та хімічна обробка сировини	117
6.4. Технологія сушіння картоплі та овочів	124
6.4.1. Сушіння картоплі	124
6.4.2. Сушіння овочів	131
6.5. Технології одержання швидковідновлюваних сушених овочів і картоплі	139
6.6. Сушіння фруктів і ягід	143
6.7. Сортування, упакування й зберігання готової продукції	149
6.8. Якість сушених овочів і фруктів та технохімічний контроль виробництва	155
6.8.1. Якість сушених овочів і фруктів	155
6.8.2. Технохімічний контроль виробництва	157
Контрольні запитання	159
РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІКА СУШІННЯ МОЛОКА ТА МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ	161
7.1. Види сушених молочних продуктів. Характеристика молока як об'єкта сушіння	161
7.2. Попередня підготовка сировини до сушіння	170
7.2.1. Транспортування, приймання сировини на вході до сушильного цеху та оцінка її якості	170
7.2.2. Операції механічної та теплової обробки молока та молочних продуктів	171
7.2.3. Операція згущення молока	174
	176

7.2.4. Обладнання для попередньої підготовки молока та молочних продуктів до сушіння	
7.3. Додаткове устаткування розпилювальних сушарок і їх автоматизація	181
7.3.1. Додаткове обладнання для очищення відпрацьованого сушильного агента: фільтри, циклони, скрубери	181
7.3.2. Обладнання для транспортування порошкового матеріалу	185
7.3.3. Устаткування для очищення, переміщення та підігрівання сушильного агента	188
7.4. Технологія сушеного молока та кисломолочних продуктів	189
7.4.1. Класифікація сушених молочних консервів і технологічних схем їх виробництва	189
7.4.2. Технологія сушеного незбираного молока	190
7.4.3. Технологія сушених вершків	191
7.4.4. Технологія сушених кисломолочних продуктів	192
7.4.5. Технологія сухого знежиреного молока, сухої сироватки та скотин, замінників незбираного молока	193
7.5. Технологія сухого молока швидкої розчинності та сушених молочних сумішей	198
7.5.1. Технологія сухого молока швидкої розчинності	198
7.5.2. Технологія сушених сумішей морозива	201
7.5.3. Технологія сушених молочних продуктів дитячого та лікувального харчування	202
7.5.4. Технологія сушених продуктів сублімаційного сушіння	207
7.6. Структура та властивості сухих молочних продуктів	208
7.6.1. Загальні відомості про якісний склад сухих молочних продуктів	208
7.6.2. Структурні характеристики сухих молочних продуктів	211
7.6.3. Фізичні властивості сухих молочних продуктів	213
7.6.4. Самозаймання та вибухонебезпечність сухих молочних продуктів	217
7.7. Розчинність і відновлюваність сухих молочних продуктів	219
7.7.1. Фізичні властивості, що визначають розчинність сухих молочних продуктів	219
7.7.2. Розчинність сухих молочних продуктів і чинники, що впливають на неї	221
7.7.3. Процес відновлення сухих молочних продуктів. Загальна характеристика й особливості	224
7.8. Технологія зберігання сушеної продукції	226
7.8.1. Чинники, які впливають на тривалість зберігання сушеного молока та молочних продуктів	226
7.8.2. Дефекти сушених молочних продуктів	227
	228

7.8.3. Матеріали та тара для упакування сушених молочних консервів	
7.8.4. Зберігання сушених молока та молочних продуктів	229
7.8.5. Мікробіологічний і технохімічний контроль виробництва сушених молочних консервів	230
Контрольні запитання	231
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	233

## ВСТУП

Інтенсивний розвиток галузей промисловості, індустріалізація країн світу призвели до необхідності пошуку наукового обґрунтування рішень проблем ефективного використання енергетичних ресурсів за умови дотримання зростаючих вимог до екологічності виробництв. Усередині проблеми варто виділити так звані енерготехнологічні процеси, тобто такі штучні дії людини, які, через певні послідовності законів природи, приводять до кінцевого продукту за рахунок використання й (або) перетворення одних видів енергії в інші:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

де  $Q$ ,  $U$ ,  $A$  – теплота, внутрішня енергія, робота відповідно, Дж. Але використання підходу лише з погляду закону збереження й перетворення енергії недостатньо, оскільки він не «визначає» напрямок перерозподілу енергії, маси, зарядів, а лише встановлює баланс. За спрямованість же процесів для встановлення цього балансу відповідає II початок термодинаміки – закон зростання ентропії:

$$dS > 0,$$

де  $S$  – ентропія, Дж/К. Якщо розглядати енергетичний баланс усередині ізольованої системи, то цей баланс може бути стійким. Якщо виконується ця умова, виробництво ентропії прагне до нуля, а потенційна (вільна) енергія  $E_n$  – до мінімального значення:

$$dS/d\tau \rightarrow 0; E_n \Rightarrow \min.$$

Можна вважати, що ці умови, а також закони збереження маси, заряду є обмежувальною сферою застосування знань людини для вирішення поставленої проблеми.

Особливий інтерес у цьому плані становить такий енерготехнологічний процес, як сушіння.

Вищеозначені умови, а також атмосферний тиск і температура, хімічний склад поверхні Землі й атмосфери зумовлюють таке явище, як кругообіг води в природі. Із технічної точки зору можна стверджувати, що в умовах Землі висохне (зволожиться, замерзне) все, тобто для води фазові переходи I роду, в умовах Землі, перебігають мимовільно, природно. Виникає питання, а, наприклад, сушіння в промисловості, це штучний процес? Швидше за все, варто вважати, що більшість способів це лише інтенсифікація за рахунок створення певних умов для природного процесу. Ураховуючи зазначене, навряд чи варто очікувати істотних проривів у плані вирішення проблеми ефективності й екологічності такого енерготехнологічного процесу. Доказом тому може слугувати знову ж аналіз II початку термодинаміки:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} = \frac{r \cdot \delta m}{T} + \frac{\delta E_g}{T},$$

де  $r$  – питома теплота фазового переходу, Дж/кг;

$\delta m$  – маса води, кг;

$\delta E_g$  – баластова енергія для створення умов і забезпечення фазового переходу, Дж;

$T$  – абсолютна температура, К.

Необхідно відзначити, що будь-які перетворення теплоти є необоротними, тобто вони призводять до зростання ентропії (безладдя). Саме цей факт в основному й визначає екологічність енерготехнологічних процесів, де відбуваються фазові переходи речовини I роду. Перспективним є пошук дійсно «штучних» енерготехнологічних процесів. Наприклад, технології вирощування кристалів, напівпровідники, каталітичні реакції тощо. Для цих випадків загальним є те, що хоча б один або декілька параметрів чи властивостей системи не мають «спорідненості» з навколишнім середовищем і прийняти рівноважне значення можуть тільки за умови подолання деякого енергетичного активаційного бар'єра –  $E_A$ . Тоді в ідеальному випадку для фазових переходів під час сушіння варто останній вираз трансформувати в:

$$dS = \frac{r \cdot \delta m}{T} + \frac{\delta E_A}{T}.$$

При цьому пошук наукових рішень сфери енергетичної й екологічної ефективності діяльності людини варто шукати з умови:

$$E_A < E_g.$$

Але оскільки зміст  $E_A$  – це деяка енергія активізації, тобто «штучний» бар'єр, то енерготехнологічним процесом варто вважати такий, що запускається, підтримується й закінчується лише за рахунок штучно створених умов перебігу цих етапів процесу. Наприклад, для сушіння система повинна бути «закритою» за потоком маси від навколишнього середовища, але відкритою стосовно теплової рівноваги, оскільки фазовий перехід I роду є по суті тепловим явищем. Тоді як енергія активізації може виступати, наприклад, механічна робота з відкриття системи з потоку маси. У цьому разі остання умова буде виконуватися, тому що механічна енергія «дешевша» й більш «оборотна» за теплову. Отже, варто очікувати енергетичної, екологічної, ресурсної ефективності такого штучного енерготехнологічного процесу. Таким чином, ефективність енерготехнологічних процесів може визначатися як заощаджена або використувана кількість відповідних одиниць (енергії, маси, грошового еквівалента тощо) від науково обґрунтованих дій людини. Виходячи з природи вимірюваної одиниці, ефективність може бути: енергетична, екологічна, економічна, соціальна.



Основою кожного з відомих способів сушіння є фізичні явища: перетворення води з рідкого в газоподібний агрегатний стан (випаровування); перетворення води з твердого в газоподібний агрегатний стан (сублімація). Технічна реалізація цих явищ визначає спосіб сушіння, а інтенсивність зневоднювання визначається режимом (умовами перебігу) способу й апаратом, що забезпечує цей режим. У цій градації саме спосіб сушіння визначає ефективність видалення вологи з матеріалу: у його зміст входять основні умови для здійснення процесів тепло- й масообміну. Спосіб сушіння визначає діапазон можливих режимів для інтенсифікації процесу зневоднювання певної сировини. Успіх у виборі цих режимів залежить від коректності наукових уявлень про механізми обміну матеріалу, що зневоднюється, теплотою й масою з навколишнім середовищем.

# РОЗДІЛ 1

## СТАТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

### 1.1. Властивості вологого повітря як вологопоглинач та теплоносія

За класичним процесом конвективного сушіння сушильним агентом є повітря, що виконує функції теплоносія та вологопоглинача. У природних умовах повітря завжди містить деяку кількість пари води, тобто являє собою вологий газ, що складається із суміші сухих газів із парою води в перегрітому стані. Водяна пара в перегрітому стані має температуру, що перевищує температуру кипіння води за певного парціального тиску. До складу сухої частини повітря входять: азот – 78%, кисень – 20,9%, інертні гази (аргон, гелій, криптон, ксенон, неон, радон) – 0,935%, вуглекислий газ – 0,03% і водень. Компоненти сухої частини повітря не впливають на процес сушіння.

Таким чином, у сушильній техніці повітря являє собою суміш сухої частини та перегрітої водяної пари, тобто ненасичений газ. До нього з достатньою для технічних розрахунків точністю застосовуються термодинамічні закони ідеальних газів, сформульовані Дж. Дальтоном.

1. Кожний газ, що входить до складу суміші, має рівну з іншими температуру, рівномірно заповнює весь об'єм суміші (за атмосферного тиску відстань між молекулами приблизно в 3000 разів більша діаметра самих молекул) і знаходиться під своїм власним парціальним (частковим) тиском:

$$V_{\Pi} = V_{cn} + V_{en}, \quad (1.1)$$

де  $V_{\Pi}$  – повний об'єм газової суміші;

$V_{cn}$  – об'єм сухої частини повітря;

$V_{en}$  – об'єм водяної пари.

2. Парціальний тиск водяної пари пропорційний його густині; повний тиск газової суміші дорівнює сумі парціальних тисків газів, що її складають.

3. Густина газу прямо пропорційна тиску й обернено пропорційна температурі:

$$\rho = \rho_0 \frac{B}{B_0} \frac{T_0}{T}, \quad (1.2)$$

де  $\rho_0$  – густина газу за нормальних умов ( $T_0=273,15$  К,  $B_0=0,1013$  МПа); для повітря  $\rho_0=1,293$  кг/м<sup>3</sup>, для водяної пари  $\rho_0=0,804$  кг/м<sup>3</sup>.

Якщо  $B$  – загальний тиск вологого повітря,  $h$  – парціальний тиск водяної пари, тоді парціальний тиск сухої частини повітря  $h_{cn}$  дорівнює:

$$h_{cn} = B - h. \quad (1.3)$$

*Абсолютна вологість* – маса водяної пари, що міститься в 1 м<sup>3</sup> повітря, тобто вона дорівнює густині пари  $\rho_n$ . У процесі сушіння абсолютна вологість

підвищується в результаті видалення вологи з матеріалу. Проте за заданої температури збільшення відбувається до визначеної межі – густини насичення  $\rho_n$ , за якої подальше збільшення вмісту водяної пари в певному об'ємі неможливе. У цих умовах надлишок водяної пари конденсується й випадає у вигляді крапель вологи.

Під час поступового охолодження вологого повітря залежно від вмісту водяної пари за певної температури настає максимально можливий насичений стан –  $\rho_n$ . Температура, за якої повітря стає насиченим і відбувається конденсація водяної пари, називається *точкою роси*  $t_n$ . Значення  $\rho_n$  можна визначити за таблицями водяної пари М.П. Вукаловича або за формулою Г.К. Філоненка:

$$\lg \rho_n = 0,686 + \frac{6,9t_n}{230 + t_n}. \quad (1.4)$$

Чим вища температура, тим значніше зростає  $\rho_n$ .

*Відносна вологість* характеризує ступінь насичення повітря паром та дорівнює відношенню кількості водяної пари в певному об'ємі повітря до максимально можливої його кількості за даних тиску й температури. Її можна визначити двома способами: по-перше, як відношення маси водяної пари (абсолютної вологості) до граничної його маси в тому ж об'ємі за однакових тиску й температури, тобто

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_n}, \quad (1.5)$$

по-друге, як відношення парціального тиску водяної пари  $h$  до максимально можливого парціального тиску пари  $h_n$  у стані насичення за однакових тиску й температури:

$$\varphi = \frac{h_n}{h_n}. \quad (1.6)$$

Рівняння (1.5) і (1.6) ідентичні, тому що парціальні тиски газових компонентів пропорційні їх густинам. Деякі розходження між значеннями  $\varphi$  викликані відхиленнями властивостей вологого повітря від ідеальних газів. Якщо  $\rho_n$  і  $h$  не залежать від температури, то їх граничні значення  $\rho_n$  і  $h_n$  є функціями температури.

Значення  $h_n$  беруть із таблиць водяної пари або розраховують за рівнянням Г.К. Філоненка:

$$\lg h_n = 0,662 + \frac{7,5t_n}{238 + t_n}, \quad (1.7)$$

де  $h_n$  у мм рт. ст. (при переведенні в одиниці СІ 1 мм рт. ст.=133,322 Па).

Рівняння (1.7) справедливе для значень температури  $t$  до 100° С.

Відносна вологість є якісною характеристикою вологого повітря, а для встановлення кількісних залежностей потрібно знати ще й температуру.

Під час нагрівання повітря з постійним вмістом водяної пари ( $h=\text{const}$ ) відносна вологість його зі збільшенням  $h_n$  зменшується, але коли температура повітря досягає температури кипіння та піднімається вище неї, відносна вологість повітря залишається постійною. Це зумовлено тим, що водяна пара займає увесь об'єм над поверхнею води, витиснувши сухі гази. При цьому парціальний тиск сухої частини повітря стає рівним нулю ( $h_{cn}=0$ ), а парціальний тиск водяної пари – рівним загальному тиску ( $h_n=B$ ). Оскільки парціальний тиск не може бути вище загального тиску, то подальше підвищення температури не змінює відносної вологості повітря.

*Вологовміст повітря.* У процесі сушіння нагріте повітря охолоджується, передаючи теплоту матеріалу, і поглинає вологу випарену з нього. У результаті первісний об'єм повітря, що надходить, змінюється, тому значення його абсолютної та відносної вологості не можна застосовувати в розрахункових рівняннях процесу сушіння.

Незмінна в процесі сушіння величина – маса сухої частини вологого повітря. *Вологовмістом*  $d$  називається маса водяної пари в грамах, віднесена до 1 кг сухого повітря:

$$d = \frac{\rho_n}{\rho_{cn}} 1000 \text{ г/кг}, \quad (1.8)$$

З урахуванням значень густини повітря й пари за нормальних умов одержуємо:

$$d = 622 \frac{h}{B - h}. \quad (1.9)$$

Вологовміст ненасиченого повітря не залежить від температури, тобто під час підігріву залишається постійним. Вологовміст насиченого повітря  $d_n$  збільшується з підвищенням температури, тому що  $h_n=f(t)$ . За температури повітря, що перевищує температуру кипіння води за певного барометричного тиску,  $d_n=\infty$ , оскільки  $h_n=B$ . Таким чином, вологовміст повітря змінюється від 0 до  $\infty$ . Різниця вологовмістів  $d_n-d$  характеризує вільну вологість повітря – здатність повітря поглинати вологу.

*Об'єм і густина вологого повітря* визначаються, відповідно, рівняннями:

$$V_{en} = 0,461 \frac{T}{B} \frac{622 + d}{1000}, \quad (1.10)$$

$$\rho_{en} = 2,17 \frac{B 1000 + d}{T 622 + d}, \quad (1.11)$$

У рівняннях (1.10) і (1.11) об'єм дано в м<sup>3</sup> на 1 кг сухого повітря,  $\rho$  – у кг/м<sup>3</sup>,  $h$  і  $B$  – у кПа.

Із рівняння (1.11) випливає, що густина вологого повітря прямо пропорційна барометричному тиску суміші й обернено пропорційна його температурі та вологовмісту. Під час сушіння нагріте повітря, віддаючи теплоту матеріалу, охолоджується та стає тяжчим. При цьому збільшується його вологовміст і, відповідно, зменшується густина. Цю закономірність необхідно враховувати під час розрахунку й експлуатації сушильних установок, щоб уникнути утворення застійних зон в окремих частинах сушильної камери.

Ентальпія вологого повітря  $I$  є функцією стану тіла. Вона дорівнює сумі внутрішньої енергії тіла  $U$  і потенціальної енергії (добутку тиску  $P$  на об'єм  $V$ ), віднесеної до одиниці кількості речовини. Збільшення ентальпії дорівнює кількості теплоти, що передана тілу:

$$dI = dU + pdV = dQ. \quad (1.12)$$

Рівняння (1.12) відображає перший закон термодинаміки. Ентальпію називають тепловою функцією, або теплоємністю. Зовнішня теплота, витрачена на зміну ентальпії, дорівнює кількості теплоти, необхідної для нагрівання маси тіла від 0° С до певної температури.

Ентальпія вологого повітря дорівнює сумі ентальпій окремих компонентів:

$$I_{en} = I_{cn} + I_n = c_{cn}t + \frac{d}{1000}i_n, \quad (1.13)$$

де  $c_{cn}$  – питома теплоємність сухого газу, зумовлена теплоємністю окремих компонентів газової суміші, кДж/(кг·К);

$i_n$  – ентальпія перегрітої пари, кДж/кг.

У сушильній техніці за величину теплоємності прийнята теплоємність за постійного тиску (ізобарна), частіше її позначають просто  $c$ . Для сухого повітря в інтервалі температур від 0 до 100° С  $c_{cn}=1$  кДж/(кг К). Ентальпія перегрітої пари:

$$i_n = i_n + c_n(t - t_n), \quad (1.14)$$

де  $i_n$  – ентальпія насиченої пари (визначається за таблицею);

$c_n$  – теплоємність перегрітої водяної пари;

$t_n$  – температура насичення, що одночасно є температурою перегрітої пари.

Температуру насичення  $t_n$  можна визначити лише графічно залежно від вологовмісту. Спростити рівняння (1.14) дозволяють припущення, запропоновані Л.К. Рамзінім: ентальпія насиченої водяної пари перебуває в лінійній залежності від температури; теплоємність перегрітої пари, що знаходиться в повітрі за парціального тиску, значно нижчого атмосферного, приймається постійною.

$$i_n = 2500 + 1,875 \cdot t_n; \quad (1.15)$$

$$i_n = 2500 + 1,875 \cdot t. \quad (1.16)$$

Із рівнянь (1.15) і (1.16) випливає, що ентальпія і перегрітої, і насиченої пари дорівнює сумі ентальпій пари за  $0^\circ \text{C}$  (2500 кДж/кг) і теплоті перегріву від 0 до  $t^\circ \text{C}$ .

Підставивши значення з формули (1.16) у рівняння (1.13), одержимо:

$$I_{en} = c_{en} t + \frac{d}{1000} 2500, \quad (1.17)$$

У цьому рівнянні  $c_{вп} t$  являє собою теплоту перегріву від 0 до  $t^\circ \text{C}$  – активну частину загальної теплоти, що віддається матеріалу, у результаті чого температура повітря знижується. Частина теплоти, що характеризується другим доданком у (1.17), є баластом: у теплообміні не бере участь і за умови збільшення вологовмісту уповільнює випаровування вологи з матеріалу. Ця частина теплоти видаляється із сушильної камери повітрям, що відходить. Для підвищення економічності процесу необхідно її використовувати. Зокрема, наприклад, мокрі пиловловлювачі, установлені за сухими віддільниками молочного порошку, не лише ліквідують втрати сухого молока, але й утилізують теплоту повітря, що відходить із розпилювальної сушарки. За теоретичного процесу сушіння, що перебігає без втрат, теплота перегріву  $c_{вп} t$  витрачається лише на випаровування вологи з матеріалу. Ця теплота у вигляді водяної пари знову повертається в нагріте повітря, але ентальпія залишається постійною.

## 1.2. *I-d* діаграма вологого повітря

*I-d*-діаграма є основою теплового розрахунку конвективних сушильних установок, яка наочно представляє весь процес сушіння. За допомогою *I-d*-діаграми виконують графічні розрахунки сушильних процесів, холодильних установок, вентиляції, опалення, кондиціонування, охолодження та змішування повітря.

За осі координат у *I-d*-діаграмі прийняті основні параметри повітря як агента сушіння: ентальпія  $I$  та вологовміст  $d$ . Ентальпію  $I$  (у кДж/кг сухого повітря) у визначеному масштабі відкладають на осі ординат. Прямі лінії  $I = \text{const}$  розташовані до неї під кутом  $45^\circ$ . У прямокутній системі координат

діаграма виходить занадто подовженою в напрямку осі ординат, тому для зручності графічних зображень  $I-d$ -діаграму будують у косокутній системі координат із кутом між осями  $135^\circ$ . Вологовміст  $d$  відкладають у визначеному масштабі на допоміжній осі абсцис. Прямі лінії  $d=\text{const}$  розташовуються на  $I-d$  діаграмі паралельно осі ординат, тобто вертикально.

Майже всі  $I-d$ -діаграми побудовані для середньорічного барометричного тиску ( $B=745$  мм рт. ст., або  $99,31$  кПа)

Ізотерми (рис.1.1) на  $I-d$ -діаграмі побудовані відповідно до рівнянь (1.13) і (1.16):

$$I = c_{cn}t + \frac{d}{1000}(2500 + 1,875t). \quad (1.18)$$

Лінійний зв'язок між  $I$  та  $t$  говорить про те, що ізотерми  $I=\text{const}$  зображуються на  $I-d$ -діаграмі у вигляді прямих ліній.

$$t = \frac{I - \frac{d}{1000} \cdot 2500}{c_{cn} + 1,875d/1000}. \quad (1.19)$$

На  $I-d$ -діаграмі ізотерми проводять через інтервал  $10^\circ$  С у вигляді похилих прямих. Зі збільшенням температури ізотерми розташовуються вище, підвищується і кут їхнього нахилу до горизонталі.

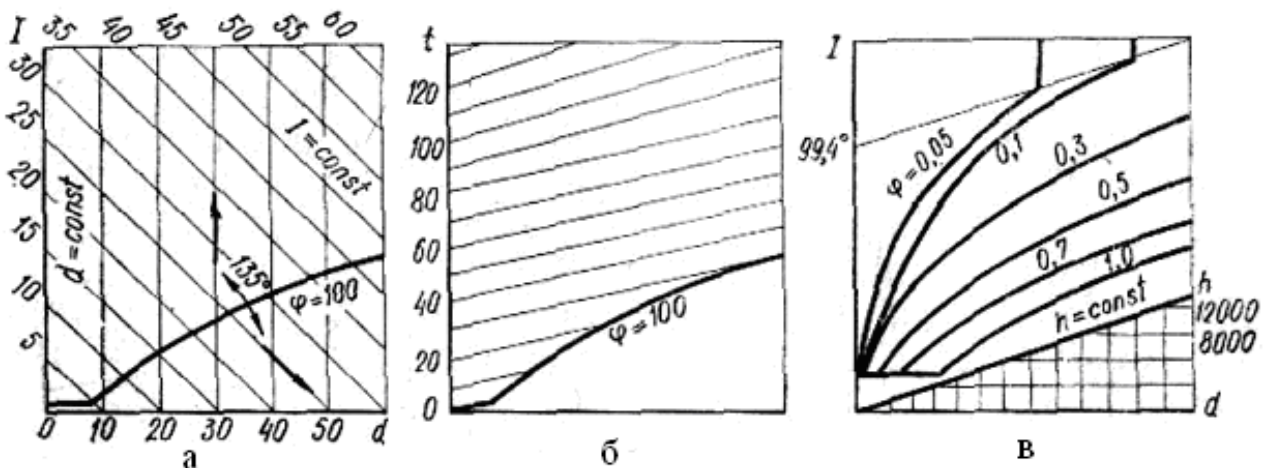


Рисунок 1.1 – Елементи  $I-d$ -діаграми: а –  $I=\text{const}$ ; б –  $t=\text{const}$ ; в –  $\varphi=\text{const}$ ;  $h=\text{const}$

Лінії постійної відносної вологості повітря  $\varphi=\text{const}$  (рис. 1.1в) будуються на підставі рівнянь:

$$d = 622 \frac{\varphi \cdot h_n}{B - \varphi \cdot h_n} \quad (1.19)$$

При цьому задаються визначеним значенням  $\varphi$  і за обраною довільною температурою  $t$  за допомогою рівняння Філоненка (7) визначають  $h_n$ .

На  $I-d$ -діаграмі лінії  $\varphi=\text{const}$  мають вигляд пучка й розходяться одна від одної тим більше, чим більше  $d$  і менше  $\varphi$ . У нижній частині діаграми вони перетинають вісь ординат за  $t=0^\circ\text{C}$ .

Крива  $\varphi=1$  (100%), що характеризує повне насичення повітря, є граничною лінією. Вище від неї розташована робоча частина діаграми, що відповідає ненасиченому повітрю, а нижче – неробоча частина для повітря, перенасиченого парою води й водою в рідкій фазі у вигляді туману. Таку суміш не використовують у сушильних процесах, тому що вона не в змозі додатково прийняти пару. Перетинання ізотерм із граничною лінією  $\varphi=1$  дають значення температури насичення (точки роси)  $t_n$ , а перетинання з нею лінії  $d=\text{const}$  визначає граничний вологовміст  $d_n$ .

За температури  $t=99,4^\circ\text{C}$  тиск насиченої водяної пари  $h_n$  стає рівним барометричному ( $h_n=B=99,3$  кПа). Подальше підвищення температури не змінює  $\varphi$ , тому що суміш складається лише з пари й за температур вище  $99,4^\circ\text{C}$  лінії  $\varphi=\text{const}$  ідуть вертикально вгору (за лінією відповідного вологовмісту).

Під час зміни барометричного тиску від  $B_1$  до  $B_2$  в умовах постійного вологовмісту відносна вологість повітря змінюється від  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$ :

$$\frac{\varphi_1}{B_1} = \frac{\varphi_2}{B_2},$$

тобто відносна вологість повітря прямо пропорційна барометричному тиску. Таким чином, зі зменшенням барометричного тиску зменшується  $\varphi$ , зростає вільна вологоємність повітря, тому що за однакової температури збільшується граничний вологовміст  $d_n$ .

*Лінія парціальних тисків водяної пари  $h=\text{const}$*  (рис. 1.1в) побудована на підставі рівняння:

$$h = B \frac{d}{622 + d}. \quad (1.20)$$

Завдяки лінійній залежності парціального тиску водяної пари від вологовмісту лінія  $h=\text{const}$  має вигляд похилої прямої. Вона розташована нижче граничної лінії  $\varphi=1$ . Значення парціального тиску водяної пари знаходять у точці перетинання заданої  $d=\text{const}$  з лінією  $h=\text{const}$ . За збільшення вологовмісту повітря парціальний тиск водяної пари зростає.

### 1.3. Побудова теоретичного процесу сушіння на $I-d$ -діаграмі

Нехай точка 1 ( $I_0, d_0, t_0$ ) (рис. 1.2) характеризує параметри повітря на вході в підігрівник, точка 2 ( $I_1, d_1=d_0, t_1$ ) – після підігрівника на вході в сушильну камеру. Лінія 1–2 визначає процес підігріву повітря за незмінного вологовмісту ( $d_1=d_0=\text{const}$ ).



Теоретичний процес сушіння, що відбувається за постійної ентальпії повітря ( $I=\text{const}$ ), на  $I-d$ -діаграмі виражений лінією 2–3. Точка 3 ( $I_1=I_2$ ,  $d_2$ ,  $t_2$ ) характеризує параметри повітря, що відходить, відрізок 3–4 визначає різницю вологовмісту повітря до та після закінчення сушіння. Витрата повітря на випаровування 1 кг води:

$$l=1000/(d_2-d_1)=1000/3-4=M_d, \quad (1.21)$$

де  $M_d$  – масштаб вологовмісту певної  $I-d$ -діаграми.

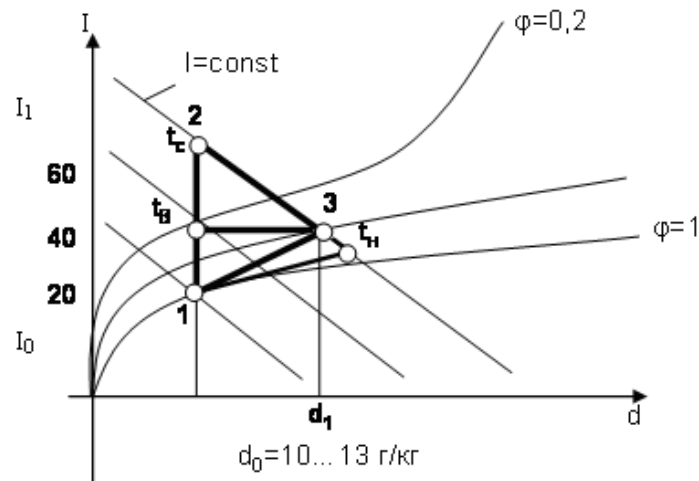


Рисунок 1.2 – Побудова теоретичного процесу сушіння

Витрата теплоти  $I_1-I_0=(1-2)M_l$  ( $M_l$  – масштаб ентальпії певної  $I-d$ -діаграми). Витрата теплоти на випаровування 1 кг води:

$$q_0 = l(I_1 - I_0) = \frac{1000}{(3-4)M_d} (1-2)M_l = m \frac{(1-2)}{(3-4)}, \quad (1.22)$$

де  $m = \frac{1000M_l}{M_d}$  – постійна величина.

Як бачимо з рис. 1.2, формулу (1.22) можна перетворити:

$$q_0 = m \frac{(1-4) + (4-2)}{(3-4)} = m [ctg(\alpha) + ctg(\beta)] = m [ctg(\alpha) + ctg(90 - \gamma)] = m [1 + tg(\lambda)].$$

Оскільки за умовами побудови  $I=\text{const}$ , на  $I-d$ -діаграмі  $\alpha=45^\circ$ . Витрата теплоти на випаровування 1 кг води під час теоретичного процесу сушіння перебуває в лінійній залежності від тангенса кута  $\gamma$ . Лінія AC характеризує параметри повітря сушильної камери на вході та виході з неї. Розмір кута  $\gamma$  характеризує економічність сушильного процесу, що дозволяє порівняти різні його варіанти. Оскільки  $0 < tg(\gamma) < \infty$ , тоді витрата теплоти під час теоретичного процесу може змінитися від нуля до нескінченності. Під час теоретичного

процесу, що відбувається без втрат теплоти, витрата на випаровування 1 кг вологи дорівнює:

$$q_0 = l(I_1 - I_0). \quad (1.23)$$

#### 1.4. Матеріальний баланс сушарок

Під час сушіння можна вважати незмінною лише масу сухої частини сировини (масою летких компонентів можна знехтувати). З уявлення про вологовміст сировини отримуємо поточну масу сировини через поточний вологовміст:

$$m = m_w + m_c = m_c \cdot (1 + W).$$

Звідси  $m_c = \frac{m}{1 + W}$ , а з того, що  $m_c = const$ , отримаємо умову  $\frac{m_1}{1 + W_1} = \frac{m_2}{1 + W_2}$  або для поточного вологовмісту ( $W$ ) та маси ( $m$ ) вважаючи, що початковий вологовміст і маса сировини становили  $W_0, m_0$ :

$$W = \frac{m \cdot (1 + W_0)}{m_0} - 1. \quad (1.24)$$

За звичайних вимог початковий вологовміст є предметом вхідного контролю виробництва, тому за формулою (1.24) під час сушіння можна визначати поточний вологовміст або контролювати закінчення процесу сушіння (до кінцевого вологовмісту).

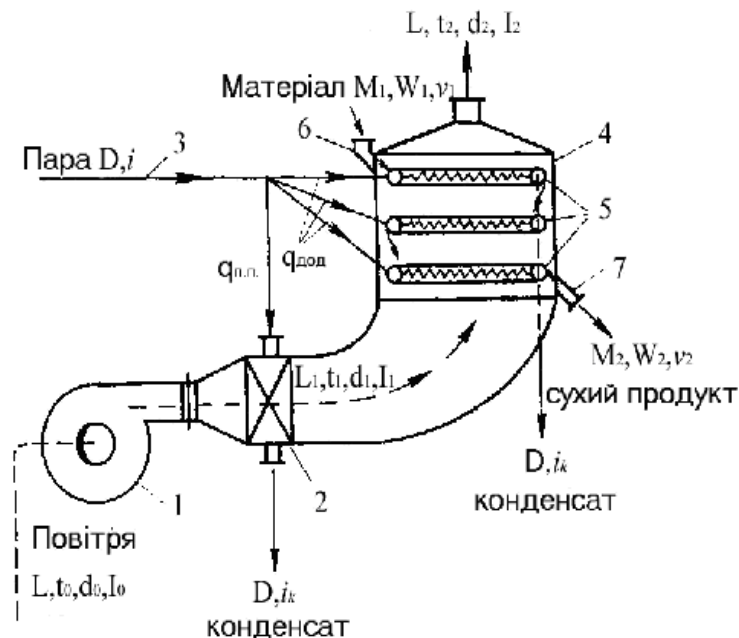
Загальну кількість вологи, що буде видалена під час сушіння із сировини, масою  $m$  можна обчислити за формулою:

$$\Delta m = m - m_k = (W_0 - W_k) \cdot m_c = m_0 \cdot \frac{W_0 - W_k}{1 + W_0}. \quad (1.25)$$

Для видалення цієї вологи необхідний певний час роботи сушарки. Величина цього часу визначається багатьма чинниками. Уся волога, що випарилася, видалається з об'єму сушарки повітрям, тому для сушарки необхідно встановлювати матеріальний баланс. Його мета – визначити масу сушильного агента на випар всієї вологи, масу сушильного агента на 1 кг вологи (питомі витрати) або для секундної витрати сушильного агента.

Матеріальний баланс сушильних установок періодичної дії складається на період процесу сушіння, а безупинної дії – на 1 годину роботи. Схему сушарки, яка ілюструє розрахунки, подано на рис. 1.3. Маса  $L$  сухої частини повітря під час проходження через калорифер і сушильну камеру не

змінюється. У сушильну камеру входить  $M_1$  кг матеріалу вологовмістом  $W_1$  і температурою  $\theta_1$ ,  $L$  кг сухої частини повітря температурою  $t$  і ентальпією  $I_1$ , а також  $Ld_1/1000$  кг водяної пари, що знаходиться в сухій частині повітря за вологовмісту  $d_1=d_0$ . Із камери видаляється  $M_2$  кг сушеної продукції вологовмістом  $W_2$ , температурою  $\theta_2$ ,  $L$  кг сухої частини повітря і  $Ld_2/1000$  кг вологого повітря температурою  $t_2$ , вологовмістом  $d_2$  і ентальпією  $I_2$ .



**Рисунок 1.3 – Схема сушильної установки: 1 – відцентровий вентилятор; 2 – калорифер; 3 – паропровід; 4 – сушильна камера; 5 – додаткова поверхня нагріву; 6 – бункер для вологого матеріалу; 7 – бункер для сухого продукту**

Матеріальний баланс сушильної установки виглядає наступним чином:

$$M_1 + L + \frac{Ld_1}{1000} = M_2 + L + \frac{Ld_2}{1000}. \quad (1.26)$$

Витрати повітря на процес сушіння:

$$L = M_w \frac{1000}{d_2 - d_1}. \quad (1.27)$$

Кількість випареної вологи:

$$M_w = M_2 - M_1 = L \frac{d_2 - d_1}{1000}. \quad (1.28)$$

Цей показник характеризує продуктивність сушильної установки. Під час порівняння сушильних установок, що розрізняються за продуктивністю, їх

показники відносять до 1 кг випареної вологи. Витрати повітря на випаровування 1 кг вологи:

$$l = \frac{L}{M_W} = \frac{1000}{d_2 - d_1}. \quad (1.29)$$

### 1.5. Тепловий баланс сушарки

*Тепловий баланс підігрівника повітря.* У розпилувальних сушильних установках повітря перед входом у сушильну камеру нагрівається в парових калориферах. У калорифер надходить  $L$  кг сухої частини повітря температурою  $t_0$ , вологовмістом  $d_0$  і ентальпією  $I_0$ , а виходить із нього  $L$  кг повітря температурою  $t_1$  ентальпією  $I_1$  і вологовмістом  $d_1=d_0$ . У калорифери надходить також  $D$  кг насиченої пари з ентальпією  $i$  та виходить  $D$  кг конденсату з ентальпією  $i_k$ . Пара віддає  $D(i-i_k)$  кДж теплоти, частина якої  $Q_{nn}$  витрачається на підігрів повітря в калорифері, частина  $Q_5^{nn}$  (2–4%) втрачається з повітрям, що видаляється:

$$Q_{nn} = D(i - i_k) + Q_5^{nn} = D(i - i_k)\eta_{nn}. \quad (1.30)$$

Тепловий коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_{nn} = \frac{Q_{nn}}{D(i - i_k)}. \quad (1.31)$$

Температура та ентальпія повітря в калорифері підвищуються відповідно з  $t_1$  до  $t_2$  і  $I_0$  до  $I_1$ , а вологовміст повітря, як було показано раніше, не змінюється,  $d_1=d_0$ . Таким чином:

$$Q_{nn} = L(I_1 - I_0). \quad (1.32)$$

Виразимо різницю ентальпій  $I_1-I_0$  через теплоємність вологого повітря:

$$Q_{nn} = Lc_{en}(t_1 - t_0). \quad (1.33)$$

Витрата теплоти на випаровування 1 кг вологи:

$$q_{nn} = l(I_1 - I_0) = lc_{en}(t_1 - t_0). \quad (1.34)$$

*Тепловий баланс конвективної сушильної камери.* Нагріте повітря з параметрами  $t_1$ ,  $d_1=d_0$  і  $I_1$  надходить у сушильну камеру. Для підігріву повітря в процесі сушіння в ній може бути встановлена додаткова поверхня нагрівання  $Q_{дод}$ .

Теплота, що надходить:

- 1) із повітрям  $LI_0 + Q_{nn}$ ;
- 2) із матеріалом  $M_W \cdot c + M_2 \cdot c \cdot \theta_1$  (для вологого матеріалу  $M_1 = M_W + M_2$ );
- 3) із транспортувальними пристроями  $M_{TP} c_{TP} \theta_1^{TP}$ ;
- 4) від додаткової поверхні нагрівання  $Q_{ДОД}$ .

Витрата теплоти:

- 1) із повітрям, що видаляється,  $LI_2$ ;
- 2) з матеріалом, що видаляється,  $M_2 c_M \theta_1$ ;
- 3) із транспортувальними пристроями  $M_{TP} c_{TP} \theta_2^{TP}$ ;
- 4) втрати в навколишнє середовище  $Q_5$ .

Рівняння теплового балансу матиме вигляд:

$$\begin{aligned} LI_0 + Q_{nn} + M_W c_W \theta_1 + M_2 c_M \theta_1 + M_{TP} c_{TP} \theta_1^{TP} + Q_{ДОД} = \\ = LI_2 + M_2 c_M \theta_1 + M_{TP} c_{TP} \theta_2^{TP} + Q_5. \end{aligned} \quad (1.35)$$

Перенесемо ліву частину рівняння вправо й розділимо всі члени на кількість води, що випаровується:

$$\begin{aligned} \frac{L}{M_W} (I_1 - I_0) + \frac{M_2}{M_W} c_M (\theta_2 - \theta_1) + \frac{M_{TP}}{M_W} c_{TP} (\theta_2^{TP} - \theta_1^{TP}) + \frac{Q_5}{M_W} - \\ - c_W \theta_1 - \frac{Q_{nn}}{M_W} - \frac{Q_{ДОД}}{M_W} = 0. \end{aligned} \quad (1.36)$$

Перепишемо (1.36) у такому вигляді:

$$q_{ПП} + q_{ДОД} = l(I_1 - I_0) + q_M + q_{TP} + q_5 - c_W \theta_1, \quad (1.37)$$

де введемо такі позначення:

$$\begin{aligned} l = \frac{L}{M_W}; \quad q_M = \frac{M_2}{M_W} c_M (\theta_2 - \theta_1); \quad q_{TP} = \frac{M_{TP}}{M_W} c_{TP} (\theta_2^{TP} - \theta_1^{TP}); \\ q_5 = \frac{Q_5}{M_W}; \quad q_{ПП} = \frac{Q_{nn}}{M_W}; \quad q_{ДОД} = \frac{Q_{ДОД}}{M_W}. \end{aligned}$$

Перетворимо різницю ентальпій:

$$\begin{aligned} l(I_2 - I_1) = l \left( c_{cn} t_2 + \frac{d_0 + (d_2 - d_0)}{1000} i_2^n - c_{cn} t_0 - \frac{d_0}{1000} i_0^n \right) = \\ = l c_{cn} (t_2 - t_0) + l \frac{d_0}{1000} (i_2^n - i_0^n) + l \frac{(d_2 - d_0)}{1000} i_2^n = q_2 + i_2^n. \end{aligned}$$

Тут ураховано, що  $l = 1000 / (d_2 - d_1) = 1000 / (d_2 - d_1)$  і що  $i_2^n$  – ентальпія перегрітої пари за температури  $t_2$  повітря, що видаляється.

В остаточному вигляді рівняння теплового балансу сушильної установки запишеться так:

$$q_{\text{ПП}} + q_{\text{ДОП}} = q_1 + q_2 + q_M + q_{\text{ТР}} + q_5, \quad (1.38)$$

де  $q_1 = i_2^n - c_w \theta_1$  – теплота, витрачена на випаровування води з матеріалу, а  $q_2$  – теплота, що відводиться із сушильної камери повітрям.

Аналіз теплового балансу дозволяє встановити всі причини втрат під час сушіння, знизити нераціональне використання теплоти й підвищити тепловий коефіцієнт корисної дії (ККД) установки. Із цією метою розглянемо рівняння (1.38) за членами.

1. Теплота, витрачена на випаровування вологи,  $q_1 = r$  (або схована теплота пароутворення) є і корисно використаною, і залежить від тиску, за якого відбувається випаровування: чим вищий тиск, тим менше  $q_1$ . Більшість сушильних установок працює за атмосферного тиску, за якого  $r = 2258$  кДж/кг. Проте пара, що утвориться, має свій парціальний тиск, за якого  $r$  більше, ніж за атмосферного тиску, і коливається в межах 2258...2406 кДж/кг.

ККД сушильної установки являє собою відношення корисно використаної теплоти до всієї витраченої:

$$\eta = \frac{q_1}{q_{\text{ПП}} + q_{\text{ДОП}}}. \quad (1.39)$$

Таким чином,  $q_1$  показує наскільки корисно використана теплота, передана від нагрітого повітря.

2. Теплота, яка видаляється повітрям із сушильної камери,  $q_2$  за вологовмісту  $d_1$  повітря. У цій частині витрат ураховується лише теплота, недовикористана в сушильній установці. Її частка в конвективних (у тому числі і розпилювальних) сушильних установках досить значна – до 30%. В ідеальному випадку повітря на виході із сушильної камери охолоджується до  $t_2 = t_0$  (температури навколишнього середовища) і тоді  $q_2 = 0$ . Але на практиці здійснити це неможливо, оскільки швидкість сушіння за такого низького потенціалу буде незначною.

Для зменшення певної частини витрат частину повітря, що видаляється, повертають на рециркуляцію або використовують цю теплоту для підігріву в зимовий час повітря або води. Останній метод доцільніший, тому що дозволяє використовувати додатково теплоту за рахунок конденсації водяної пари.

3. Теплота, яка видаляється висушеним матеріалом,  $q$ . Наприклад, температура  $\theta_2$  матеріалу на виході із сушильної камери під час розпилювального сушіння визначається температурою повітря, що видаляється із сушильної установки. На цю частину за великого початкового вологовмісту

матеріалу припадає 2...5% загальної витрати теплоти. Цю втрату можна зменшити, якщо здійснити рециркуляцію повітря в сушильній камері.

4. Втрати теплоти з транспортувальними пристроями  $q_{TP}$  відбуваються тоді, коли транспортувальні пристрої (транспортні стрічки, конвеєри, візки, вагонетки, лотоки, касети) входять і виходять із сушильної камери. Тому під час розрахунку цієї частини теплоти необхідно враховувати масу транспортувальних пристроїв, їх теплоємність, температуру на виході та вході в сушильну камеру.

5. Втрати теплоти в навколишнє середовище  $q_5$  досягають значного розміру за великої площі зовнішньої поверхні сушильної камери, особливо якщо вона не має теплової ізоляції. Ця частина втрат теплоти має не лише техніко-економічне, але й санітарно-гігієнічне значення: виділення теплоти в приміщення в холодний період року сприяє його опаленню, а влітку, навпаки, вимагає його охолодження, установки вентиляційних пристроїв.

Втрати теплоти в навколишнє середовище складаються з втрат через огорожування сушильної камери  $q_{огор}$  і, що відповідає меншій частині, втрат із витокком повітря  $q_{вит}$ :

$$q = q_{огор} + q_{вит},$$

$$q_{огор} = \frac{\sum FK \Delta t}{M_w}, \quad (1.40)$$

$$q_{вит} = \frac{L_{ВИТ}}{M_w} c_{ВИТ} (t_{cp} - t_0),$$

де  $L_{ВИТ}$  – витік повітря, кг/год (визначається експериментально);

$c_{ВИТ}$  – питома теплоємність за середньої температури повітря  $t_{cp}$  у сушильній камері;

$t_0$  – температура повітря в приміщенні.

Більшість сушильних установок працюють за умови деякого розрідження в сушильній камері. У цьому разі теплота з витокком повітря не втрачається і ця складова не враховується під час розрахунку загальних втрат.

У рівнянні для  $q_{огор}$  (втрати теплоти через огорожування)  $\Sigma F$  – сумарна поверхня окремих конструктивних елементів огорожування сушильної камери (бічні стінки, стеля, станина та ін.), м<sup>2</sup>;  $\Sigma K$  – сумарний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К). Останній розраховується для окремих елементів за загальноприйнятим рівнянням:

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum \delta / \lambda + 1/\alpha_2}, \quad (1.41)$$

де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від нагрітого повітря сушильної камери до внутрішньої поверхні стінок і від зовнішньої поверхні до навколишнього повітря, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta$  – товщина окремих шарів, із яких складається огорожування, м;  
 $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К). У середньому  $K=5...17$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).  
 Середня різниця температур стінок сушильної камери:

$$\Delta t = t_{вн} - t_{зовн},$$

де  $t_{зовн}$  – температура зовнішньої поверхні стінки, К;  
 $t_{вн}$  – середня температура внутрішніх її поверхонь, К.

$$t_{вн} = 0,5(t_{max} + t_{min}),$$

де  $t_{max}$  і  $t_{min}$  – максимальна та мінімальна температури нагрітого повітря в сушильній камері на певній ділянці.

Температура внутрішніх поверхонь сушильної камери повинна бути вище точки роси, щоб уникнути конденсації водяної пари. Температура зовнішньої стінки відповідно до умов охорони праці не повинна перевищувати 50° С.

Втрати теплоти в навколишнє середовище  $q_5$  можна також розраховувати за залишком теплового балансу. Варто враховувати, що в цю частину входять втрати, зумовлені неточністю випробування установки та невраховані. Якщо розбіжність результатів аналітичного розрахунку частин витрат теплового балансу порівняно з надходженням теплоти перевищує 2%, це вказує на наявність неврахованих джерел втрат.

Час роботи сушильного апарата розділяють на відрізки, протягом яких режим залишається приблизно постійним, складають тепловий баланс на кожен такий проміжок часу і потім підсумовують його за весь робочий період. У тепловому балансі періодично працюючих установок потрібно враховувати також витрату теплоти на нагрівання сушильного апарата.

Щоб можна було порівняти різні режими роботи сушильної установки, тепловий баланс варто складати відносно теплоти, внесеної вхідним повітрям, тобто до теплоти пари, використаної в сушарці, а не до витрати пари.

## 1.6. Аналітичний розрахунок процесу сушіння

У рівняння теплового балансу введемо комплекс величин:

$$\Delta = (c_w \theta_1 + q_{дод}) - (q_M + q_{TP} + q_5), \quad (1.42)$$

який характеризує внутрішній тепловий баланс сушильної установки. Тоді рівняння (1.37) можна переписати наступним чином:

$$q_{mn} = l(I_2 - I_0) - \Delta. \quad (1.43)$$

Але, як було встановлено раніше, витрата теплоти в підігрівнику повітря  $q_{mn} = l(I_1 - I_0)$ . З урахуванням цього:



$$I_2 = I_1 + \Delta/l. \quad (1.44)$$

Рівняння (1.44) характеризує реальний процес сушіння, на відміну від ідеального (теоретичного), що відбувається без втрат теплоти, у якому ентальпія повітря в сушильній камері не змінюється  $I_2=I_1$ . У реальному процесі сушіння втрати теплоти неминучі. Ентальпія повітря, що відходить, у такому процесі змінюється залежно від значення величини  $\Delta$ :

– у разі відсутності додаткових калориферів усередині сушильної камери ( $q_{\text{доп}}=0$ )  $\Delta$  негативна,  $I_2 < I_1$ ;

– коли всередині сушильної камери є достатня поверхня підігріву  $q_{\text{доп}}$ ,  $\Delta$  має позитивне значення,  $I_2 > I_1$ , тобто ентальпія повітря в сушильній камері збільшується;

– додаткова поверхня нагрівання компенсує всі втрати теплоти, ( $\Delta=0$ ) і  $I_2=I_1$ , тобто ентальпія повітря, що відходить, дорівнює ентальпії повітря, що надходить у сушильну камеру. У цьому разі реальний процес сушіння здійснюється як теоретичний.

Із рівняння (1.44) з урахуванням вираження для різниці ентальпій можна одержати:

$$l = \frac{i_2^n - \Delta}{c_{\text{ен}}(t_2 - t_1)}. \quad (1.45)$$

Рівняння (1.45) визначає витрати повітря як теплоносія на випаровування 1 кг вологи. Прирівняємо його до рівняння (1.27), що характеризує витрату повітря як вологопоглиначу під час випаровування, одержимо рівняння, що є аналітичним описом процесу сушіння:

$$\frac{i_2^n - \Delta}{c_{\text{ен}}(t_2 - t_1)} = \frac{1000}{d_2 - d_1}. \quad (1.46)$$

Тут  $t_1$  – температура повітря, що надходить у сушильну камеру з підігрівника.

Вибір цієї температури визначається техніко-економічними та технологічними вимогами. Чим вища температура  $t_1$ , тим більш економічний процес сушіння. Одночасно значення  $t_1$  має забезпечити високу якість готового продукту, тому  $t_1$  варто приймати як максимально допустиму температуру для певного матеріалу за певного способу сушіння. Вологовміст повітря, що надходить у сушильну камеру з підігрівника ( $d_1=d_0$ ), вибирають у межах 10...15 г/кг сухого повітря. Ентальпію перегрітої пари в повітрі, що видаляється із сушильної камери, визначають за температурою цього повітря  $t_2$ . Значення  $\Delta$  вибирають з урахуванням наявності або відсутності додаткової поверхні нагрівання всередині сушильної камери.

Таким чином, у рівнянні (1.46) залишаються невідомими  $d_2$  і  $t_2$ , що характеризують параметри повітря, що видаляється. Їх визначають способом відбору. Вологовміст повітря, що відходить,  $d_2$  повинен бути більше насиченого вологовмісту  $d_n$ , у протилежному випадку відбудеться конденсація пари з повітря і матеріал, що висушується, зволожиться. Значення  $d_2$  і  $t_2$  знаходять графічно за допомогою  $I-d$ -діаграми.

У реальному процесі витрата теплоти на випаровування 1 кг води дорівнює:

$$I_2 = I_1 + \Delta/l = I_1 + \frac{\Delta}{1000}(d_2 - d_1). \quad (1.47)$$

Рівнянню (1.47) відповідає пряма лінія. На рис. 1.4 показано побудову реального процесу сушіння за заданих параметрів повітря, що надходить у сушильну камеру (точці  $A$  відповідають  $t_0$ ,  $d_0$ ,  $I_0$ , точки  $B$  –  $t_1$ ,  $d_1=d_0$ ,  $I_1$ ). Ентальпія  $I_2$  за позитивного значення  $\Delta$  збільшується та зображується у вигляді прямої, розташованої вище лінії теоретичного процесу сушіння. За  $\Delta < 0$  вона розташовується нижче цієї лінії.

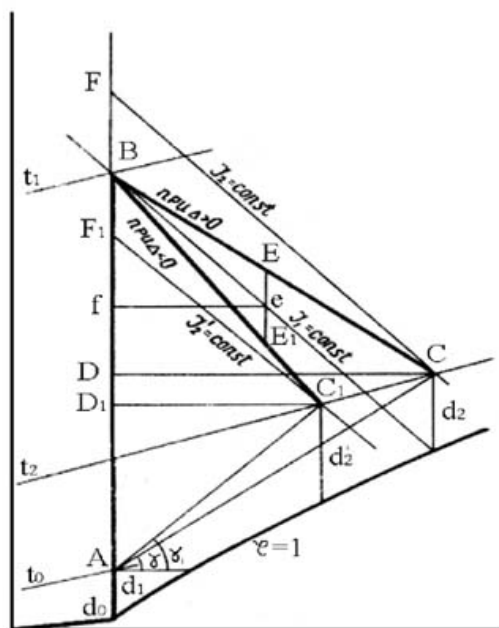


Рисунок 1.4 – Побудова реального процесу сушіння

Процес  $AFC$  є теоретичним графіком реального процесу  $ABC$ . Процеси мають загальну лінію  $AC$ . За  $\Delta < 0$  у реальному процесі повітря перед сушильною камерою нагрівається до більш високої температури, ніж у теоретичному. Економічність сушильного процесу характеризується кутом нахилу лінії  $AC$ , що визначає параметри повітря перед входом у підігрівник і на виході із сушильної камери. Таким чином, економічність процесу сушіння можна встановити за відповідним теоретичним процесом, без побудови реального процесу.

Аналізуючи ці процеси, можна зробити такі висновки:

1) чим вища температура нагрівання повітря в підігрівнику, тим менша витрата повітря на процес сушіння;

2) із підвищенням температури повітря, що надходить у сушильну камеру, нахил лінії  $AC$  до горизонтальної осі зменшується, отже, скорочується витрата теплоти на випаровування вологи з матеріалу.

Під час однократного використання повітря процес сушіння доцільно проводити за максимально допустимого для певного матеріалу та певного способу сушіння нагрівання повітря. Тому під час розпилувального сушіння молока повітря в калорифері можна нагрівати до  $180...200^{\circ}\text{C}$  – це більш економічно, ніж під час нагрівання повітря до  $140...160^{\circ}\text{C}$ . Проте температура повітря, що видаляється, відповідає температурі сухого молока та не повинна перевищувати  $80^{\circ}\text{C}$ .

Основні варіанти сушильного процесу з додатковим підігрівом повітря і частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря є основою конвективних способів сушіння. Усі вони дозволяють багаторазово використовувати сушильний агент.

Варіант із додатковим підігрівом повітря широко використовується в багатоярусних стрічкових конвеєрних сушильних установках. Повітря, що має в точці  $A$  початкові параметри з  $t_0, d_0, I_0$ , нагрівається в підігрівнику, і в точці  $B$  його параметри становлять  $t_1, d_1=d_0, I_1$ . У сушильній камері температура та ентальпія знижуються (лінія  $BP$ ), а вологовміст повітря збільшується внаслідок витрат теплоти на випаровування вологи. У точці  $C$  параметри повітря рівні  $t_2, d_2, I_2$ . Це повітря направляється в проміжний додатковий підігрівник, установлений або в самій сушильній камері, або в проміжку між окремими її зонами. Тут воно нагрівається до тієї самої температури (допустимої для певного матеріалу) по лінії  $CB_1$  і подається в другу частину сушильної камери. У точці  $B_1$  повітря має параметри  $t_1, d_1, I_2$ . У другій частині сушильної камери параметри повітря в точці  $C_1$  становлять  $t_2, d_3, I_4$ .

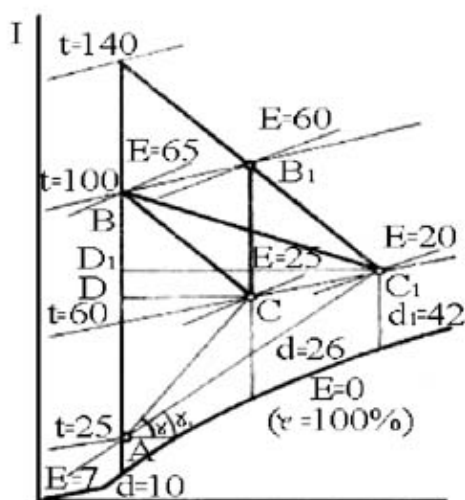


Рисунок 1.5 – Процес сушіння з додатковим підігрівом повітря

За цього варіанта витрата повітря зменшується приблизно вдвічі ( $D_1C_1=2DC$ ), витрата теплоти також менша, тому що  $\gamma_1 < \gamma$ , і сушіння в обох частинах сушильної камери здійснюються за постійної температури вхідного повітря, максимально допустимої для певного матеріалу та певного способу сушіння.

Варіант із частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря включає два різновиди: без підігріву суміші повітря і з її підігрівом. Розглянемо перший випадок (рис. 1.6а). Якщо до 1 кг свіжого повітря з параметрами  $d_0, I_0$  додати  $n$  кг відпрацьованого повітря з параметрами  $d_2, I_2$ , то одержимо  $(n+1)$  кг сухої частини суміші з параметрами  $d_{CM}, I_{CM}$ :

$$\begin{aligned} I_0 + nI_2 &= (n+1)I_{CM}; \\ d_0 + nd_2 &= (n+1)d_{CM}. \end{aligned}$$

Звідки

$$n = \frac{I_{CM} - I_0}{I_2 - I_{CM}} = \frac{d_{CM} - d_0}{d_2 - d_{CM}}. \quad (1.48)$$

Рівняння (1.4) виражається лінією  $AC$ . Із рис. 1.6а випливає, що процес  $ABC$  відбувається без рециркуляції повітря, а  $MKC$  – із частковою рециркуляцією. Порівняння процесів  $ABC$  і  $MKC$  показує, що витрата теплоти на сушіння  $q_0$  в обох випадках однакова, тому що кут  $\gamma$  не змінюється, але при цьому знижується температура суміші повітря перед сушильною камерою  $t_1$ .

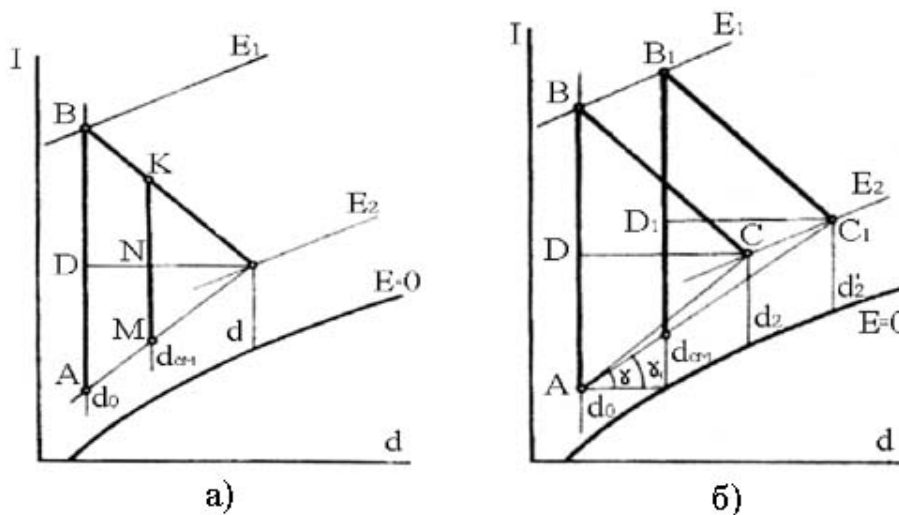


Рисунок 1.6 – Процес сушіння з частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря: а – без підігріву; б – із підігрівом суміші повітря

Оскільки

$$n + 1 = \frac{d_{CM} - d_0}{d_2 - d_{CM}} + 1 = \frac{d_2 - d_0}{d_2 - d_{CM}}, \quad (1.48)$$

то витрата повітря  $l=1000/(d_2-d_{CM})$  у процесі *МКС* із частковою рециркуляцією в  $(n+1)$  раз більше витрати  $l=1000/(d_2-d_0)$  у процесі без рециркуляції *АВС*. Процес *МКС* не забезпечує економічних переваг, проте його застосовують для обробки матеріалів, що важко зневоднюються. Це забезпечує рівномірний розподіл вологи в матеріалі, рівномірну його усадку, у матеріалі не створюється механічних напружень, не з'являються розриви та тріщини.

За другого способу здійснюється часткова рециркуляція з підігрівом суміші повітря в підігрівнику до значення потенціалу сушіння  $E_1$  (рис. 1.6б). Процес  $MB_1C_1$  відбувається за однакової з процесом *АВС* витрати повітря, тому що  $DC=D_1C_1$  (це впливає з рівності прямокутних трикутників  $DBC$  і  $D_1B_1C_1$ ) та меншої витрати теплоти ( $\gamma_1 < \gamma$ ).

Таким чином, щоб провести процес більш економічним шляхом необхідно:

- застосовувати якомога більші температури сушильного агента;
- зменшувати питомі витрати на нагрівання транспортувальних елементів сушарки;
- зменшувати температуру готової продукції на виході із сушарки;
- провести заходи зі зменшення втрат теплоти в довкілля;
- використовувати сушильний агент із меншим вологовмістом;
- повертати частину сушильного агента для рециркуляції;
- використовувати конденсацію відпрацьованого агента сушіння, щоб використовувати його баластну теплоту;
- використовувати додаткові нагрівачі безпосередньо в сушильній камері.

Ці дії можуть значно покращити економічні показники конвективного способу сушіння, але радикальним шляхом є розроблення нових штучних способів сушіння. До них належить сушіння змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння), де реалізується інший підхід до проведення теплового зневоднення: агент сушіння «готується» безпосередньо всередині так званих функціональних місткостей, а його параметри автоматично відслідковують інтенсивність випаровування вологи.

## 1.7. Стан і структура вологи в сировині

Вода є структурним компонентом нуклеїнової кислоти та білків. На одну молекулу білка протоплазми припадає 18000 молекул води. Вона має особливі порівняно з іншими рідинами властивості:

- максимальну густину за температури  $3,98^\circ \text{C}$ , за будь-якої іншої температури густина її зменшується (наприклад, під час льодоутворення вона приблизно на 9% менша);
- характеризується найбільшою з усіх рідких і твердих речовин питомою теплоємністю – для її нагрівання або охолодження необхідно більше теплоти, ніж для рівної кількості іншої рідкої або твердої речовини;
- найбільшу з усіх рідин приховану теплоту плавлення та паротворення;

– значно більший, ніж у іншої рідини (крім ртуті), коефіцієнт поверхневого натягу;

– характеризується порівняно з іншими рідинами значно більшими значеннями діелектричної постійної та внутрішнім тиском (1640 МПа);

– є одним із кращих розчинників, залишаючись при цьому інертною (тобто під час розчинення інших речовин сама не змінюється);

– теплота плавлення льоду зі зниженням температури зменшується, точка плавлення льоду знижується в разі зменшення тиску. Вода має мінімальну теплоємність за атмосферного тиску і температури +40° С.

Незвичайні властивості води зумовлені її структурою. Рідка вода складається з груп міцно з'єднаних молекул – асоціацій. Частина молекул води та льоду утворює угруповання з п'яти молекул, розташованих у виді тетраедра. Така упорядкована структура води та льоду зумовлена дією сил тяжіння між диполями, які утворюють молекули, а також водневим зв'язком.

Водневий зв'язок забезпечує з'єднання водневих атомів із молекулами білка, вуглеводів та інших органічних макромолекул, унаслідок чого відбувається гідратація останніх. Вода в гідратованих молекулах зв'язана й упорядкована. Фізико-хімічні властивості такої води (мономолекулярно-адсорбційної) відрізняються від властивостей вільної води:

– зв'язана вода слабо або зовсім не розчиняє речовини, які розчинні у вільній воді;

– її питома теплоємність нижче звичайної та наближається до теплоємності льоду;

– зв'язана вода замерзає за негативних температур (значно нижче нуля залежно від характеру зв'язку);

– її діелектрична проникність ( $\epsilon=2,2$ ) значно нижча, ніж звичайної ( $\epsilon=80$ ), а густина (1300...1740 кг/м<sup>3</sup>) вища;

– за своїми властивостями зв'язана вода наближається до пружного твердого тіла.

*Види зв'язку вологи з матеріалом.* Властивості матеріалів і способи видалення з них води під час сушіння залежать від вмісту та форми зв'язку вологи з матеріалом. П.О. Ребіндер запропонував класифікувати ці форми на основі енергії, витраченої на порушення зв'язку води зі скелетом твердого тіла під час сушіння матеріалу.

Зв'язок вологи з матеріалом характеризується величиною вільної енергії ізотермічного зневоднювання, тобто роботою, необхідною для видалення 1 моля води за постійної температури без зміни складу речовини за даним вологовмістом. Енергія, витрачена на видалення 1 моля води з вологого матеріалу, визначається з рівняння:

$$A = -RT \ln \frac{h_n}{h_w} = -RT \ln \varphi, \quad (1.48)$$

де  $A$  – енергія зв'язку води, Дж/моль;

$R$  – універсальна газова постійна, Дж/(кмоль·К);

$h_n$  – тиск насиченої пари вільної води за даної температури, Па;

$h_w$  – тиск рівноважної пари над вологим матеріалом з вологовмістом  $W$  за тої самої температури, Па;

$\varphi$  – відносна вологість повітря, %.

За наявності в матеріалі вільної води  $h_n=h_w$  і  $A=0$ . Під час видалення води міцність зв'язку її з матеріалом збільшується й енергія зв'язку  $A$  зростає.

П.О. Ребіндер класифікував форми зв'язку води з матеріалом на три групи: хімічну, фізико-хімічну та фізико-механічну. У цих групах, у свою чергу, розрізняють види зв'язку води з матеріалом: хімічну, адсорбційну, осмотичну і капілярну.

*Хімічно зв'язана вода* підрозділяється на воду, зв'язану у вигляді гідроксильних іонів, і воду, укладену в кристалогідрати. Перша утворюється в результаті хімічної взаємодії в певному стехіометричному співвідношенні, за якого вода, як така, зникає: видалити цю воду можна тільки в результаті хімічної взаємодії, рідше прожарюванням. Хімічно зв'язана вода найбільш міцно зв'язана з матеріалом, має максимальну енергію зв'язку з матеріалом і під час сушіння не видаляється. У розрахунках її не враховують.

*Фізико-хімічна вода* підрозділяється на адсорбційно й осмотично зв'язану. Молекули речовини на поверхні розділення, на відміну від молекул, розміщених усередині, знаходяться в нерівноважному стані через різну енергію взаємодії між молекулами рідини та повітря. Тому молекули рідини в поверхневому шарі мають вільну енергію поверхневого натягу. Під дією цієї енергії притягаються молекули, які мають менший взаємний зв'язок. Поверхневий шар рідини чинить тиск на всю її масу.

Наприклад, у молоці білки знаходяться у вигляді колоїдних розчинів із розміром частинок казеїну близько 10 нм, молочний жир – у вигляді тонкої емульсії із середнім розміром жирових кульок 2...4 мкм, молочний цукор – у вигляді молекулярного розчину, мінеральні речовини – у колоїдному, молекулярному й іонному станах. Гідрофільні властивості мають білки, молочний цукор і мінеральні речовини молока.

Дрібнодисперсний і розчинний стан гідрофільних сухих речовин молока створює величезну поверхню розділення, що веде до появи значної поверхневої енергії. На внутрішніх і зовнішніх поверхнях розділення під дією надлишкової поверхневої енергії відбувається *адсорбція* – поглинання молекул повітря та водяної пари з навколишнього середовища. Поряд із переважаючою адсорбцією відбуваються *абсорбція* – поглинання та проникнення води всередину речовини, а також їх хімічна взаємодія – *хемосорбція*.

*Адсорбційно зв'язана вода* (особливо перший шар молекул – мономолекулярний) найбільш міцно зв'язана з речовиною. У наступних шарах енергія зв'язку постійно зменшується і властивості адсорбційної води тут наближаються до властивостей звичайної води.

Під час утворення мономолекулярного шару адсорбційної води виділяється теплота адсорбції та відбувається стиснення об'єму – *контракція*

системи (об'єм набряклого тіла менше суми об'ємів матеріалу й поглинутої вологи). Видалення адсорбційної вологи під час сушіння пов'язане з додатковою витратою енергії на теплоту адсорбції та обов'язкове перетворення води в пару. Мономолекулярний шар адсорбційної вологи видалається наприкінці процесу сушіння.

*Осмотично зв'язана волога* поглинається матеріалом без виділення теплоти та контракції системи, за властивостями не відрізняється від звичайної води, під час сушіння переміщується всередині матеріалу без фазового перетворення у вигляді рідини. Сюди належить волога набрякання й волога іммобілізована всередині клітин колоїдною оболонкою.

Осмос являє собою дифузію розчинника через напівпроникну перегородку під дією кінетичної енергії молекул. Дифузія спрямована з області з більш високим парціальним тиском (із меншою концентрацією сухих речовин у розчині) у бік меншого парціального тиску (із більшою концентрацією сухих речовин). Осмотичний тиск показує, наскільки тиск води в розчині менший, ніж у чистій воді, за рівних температури й атмосферного тиску. Для розчинів осмотичний тиск дорівнює:

$$P_{осм} = \frac{n}{V} RT = CRT, \quad (1.49)$$

де  $n$  – число молів розчиненої речовини, моль;

$V$  – об'єм розчину, м<sup>3</sup>;

$C$  – молярна концентрація розчину, моль/м<sup>3</sup>.

Осмос не залежить від зовнішнього тиску. Енергія зв'язку осмотичної вологи:

$$A = -RT \ln n_0, \quad (1.50)$$

де  $n_0$  – молярна частка води в розчині, моль/моль.

*Механічний зв'язок. Капілярно зв'язана волога.* Змочування відбувається під час зіткнення краплі води з твердим і газоподібним середовищами. Це явище відбувається в капілярах. На поверхні твердого тіла крапля води може набувати різних форм залежно від співвідношення енергій поверхневого натягу між повітрям і водою, водою і твердим тілом, повітрям і твердим тілом.

Крайовий кут  $\theta$  – кут змочування утворюється дотичною, проведеною до поверхні краплі. За  $\theta < 90^\circ$  поверхня добре змочується: чим менше  $\theta$ , тим краще змочування. Повне змочування настає за  $\theta = 0$ . Крутість меніска залежить від діаметра капіляра. Чим менший діаметр капіляра, тим більша, крутість меніска та менший радіус кривизни. Із рис. 1.7 впливає, що:

$$r = R \cos \theta, \quad (1.51)$$

де  $r$  – радіус капіляра, м;



$R$  – радіус кривизни меніска, м.

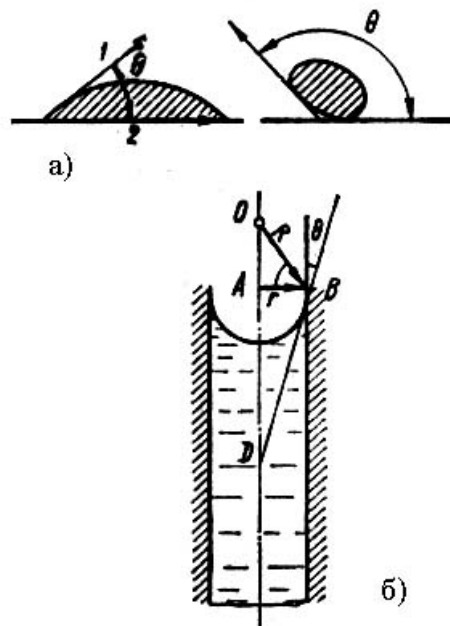
За повного змочування ( $\theta=0$ ,  $\cos\theta=1$ ,  $R=r$ ) на стінках капіляра утворюється шар адсорбційної вологи. Існування *капілярно зв'язаної вологи* зумовлене поверхневим натягом і капілярним тиском. Тиск вологи над увігнутою поверхнею менший, ніж над плоскою, на величину капілярного тиску. Під дією капілярного тиску волога, що змочує стінки капіляра, піднімається на визначену висоту. Це відбувається доти, поки капілярний тиск не врівноважиться гідростатичним. Висота підняття вологи, що змочує стінки капіляра радіусом  $r$  і радіусом кривизни меніска  $R$ , визначається рівністю сил тяжіння та поверхневого натягу:

$$h = \frac{2\sigma \cos(\theta)}{Rg(\rho_w - \rho_n)}. \quad (1.52)$$

Оскільки густина води  $\rho_w$  набагато більша густини пари  $\rho_n$ , то формулу (1.52) за повного змочування  $\theta=90^\circ$  і  $R=r$  для температури  $20^\circ$  С можна спростити:

$$h = 0,15/r, \quad (1.53)$$

де  $r$  – радіус капіляра.



**Рисунок 1.7 – Крайовий кут змочування: а – під час взаємодії краплі рідини з твердою поверхнею; б – у меніска капіляра**

Зокрема, за  $r=10^{-3}$  м  $h=150$  м. У меніска капіляра, довжина якого менше висоти підняття води, утвориться негативний тиск, що зменшує густину води та звужує капіляри еластичних тіл. О.В. Ликов залежно від розміру поділяє капіляри на мікрокапіляри ( $r < 10^{-7}$  м) і макрокапіляри ( $r > 10^{-7}$  м). У макрокапілярах тиск насиченої пари над плоским меніском практично не

відрізняється від тиску над поверхнею вільної води. Волога, що знаходиться в макрокапілярах, є вільною, за винятком адсорбційно зв'язаного мономолекулярного шару. У мікрокапілярах тиск насиченої пари менше парціального тиску пари в повітрі і молекули пари притягаються до поверхні увігнутого меніска, тобто відбувається капілярна конденсація. Капілярній конденсації вологи передує моно- і полімолекулярна адсорбція пари.

Капіляри з меншим радіусом утворюють меніски більшої кривизни та мають менший поверхневий тиск, ніж більш широкі, тому в процесі сушіння вода із широких капілярів переміщується в більш вузькі і рівень вологи в широких капілярах поступово знижується. Якщо довжина мікрокапілярів менше висоти капілярного підняття, то вода почне розливатися по поверхні матеріалу й випаровуватися відтіля. Із цієї ж причини в конічних капілярах вона буде переміщатися в напрямку їхнього звуження.

Н.Н. Федякін установив, що вода, яка знаходиться в мікрокапілярах відрізняється від вільної меншими в'язкістю й поверхневим натягом, більшою теплоємністю. Температура замерзання такої вологи нижче 0° С. Енергія зв'язку в мікрокапілярах

$$A = 2\sigma v_0 / r, \quad (1.54)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг на межі води з пароповітряною сумішшю, Н/м;

$v_0$  – питомий об'єм, м<sup>3</sup>;

$r$  – радіус капіляра, м.

Волога з мікрокапілярів повністю видаляється випаровуванням у процесі сушіння.

### 1.8. Рівноважний вологовміст. Ізотерми сорбції та десорбції

Рівноважний вологовміст матеріалу визначає його здатність утримувати вологу. *Рівноважним* називається вологовміст, за якого парціальний тиск пари над матеріалом дорівнює парціальному тиску пари в навколишньому середовищі. При цьому температура матеріалу дорівнює температурі навколишнього повітря. У процесі сушіння волога видаляється з матеріалу тільки до досягнення рівноважного вологовмісту, що відповідає визначеним параметрам агента сушіння. Тому значення рівноважного вологовмісту входить у розрахункові рівняння тривалості сушіння. За значеннями рівноважного вологовмісту визначають також зв'язок вологи з матеріалом, потенціальну можливість повітря як агента сушіння, термодинамічні параметри вологообміну матеріалів, умови збереження сухих матеріалів, потрібний вид тари й упакування.

Рівноважний вологовміст залежить від вологості та температури повітря, а також від способів досягнення рівноваги. Графічна залежність між рівноважним вологовмістом матеріалу й відносною вологістю повітря за визначених постійних значень температури називається *ізотермою сорбції* або

десорбції матеріалів. Якщо рівновага досягається шляхом поглинання вологи матеріалом із навколишнього повітря, одержують ізотерму сорбції; якщо в результаті видалення вологи – ізотерму десорбції. Значення рівноважного вологовмісту визначають лише експериментально за ізотермами сорбції та десорбції, оскільки різноманіття форм зв'язку вологи з матеріалом, структур і хімічного складу продукту ускладнює його аналітичний розрахунок.

Найбільш розповсюдженим способом визначення рівноважного вологовмісту є тензометричний. Деяку масу досліджуваного матеріалу поміщають у бюкси. Бюкси з відкритими кришками (не менше двох) розміщують в ексикатори. У кожному ексикаторі підтримується визначена відносна вологість повітря. Для одержання ізотерми необхідно 8–10 ексикаторів із різною відносною вологістю повітря з діапазону від 0 до 100%. Ексикатори поміщають у контейнер із визначеною температурою, постійною для певної серії дослідів. Бюкси з матеріалом періодично зважують. Дослідження закінчується після досягнення зразком постійної маси, що означає встановлення рівноважного стану матеріалу з повітрям. Значення рівноважного вологовмісту матеріалу визначають стандартним методом. Потім будують графік залежності відносної вологості повітря  $\varphi$  і рівноважного вологовмісту матеріалу  $W_p$  – ізотерми сорбції та десорбції.

Для одержання точної закономірності необхідно проводити дослідження паралельно за декількох температур.

Тензометричний метод простий, але відрізняється тривалістю (кілька місяців). У таких умовах за відносної вологості повітря понад 80% на харчових матеріалах можуть розвиватися цвілі, дріжджі, грибки, що призводить до бактеріального та ферментативного псування матеріалів і неможливості доведення дослідження до кінця. Для прискорених методів дослідження забезпечується прискорення тепломасообміну.

Із підвищенням температури за незмінної відносної вологості повітря значення рівноважної вологості сухих молочних продуктів зменшується. Зі збільшенням їх жирності за інших рівних параметрів рівноважний вологовміст знижується, оскільки зменшується вміст гідрофільних компонентів, здатних зв'язувати воду – білків, лактози, мінеральних речовин.

У волозі, що знаходиться в матеріалі, розрізняють області вологого та гігроскопічного станів. Межею між цими станами слугує гігроскопічний вологовміст  $W_T$  – рівноважний вологовміст за максимальної відносної вологості повітря  $\varphi=100\%$ . Із підвищенням температури гігроскопічний вологовміст зменшується. Для прикладу на рис. 1.8 показано ізотерми десорбції сухого незбираного молока за різних температур. У гігроскопічному стані знаходиться значна кількість загальної вологи молочних продуктів, і на видалення цієї вологи припадає більша частина сушильного процесу, тому що під час сушіння видалається найбільш міцно зв'язана з матеріалом волога.

Тензометричні методи вивчення сорбційних характеристик дозволяють одержувати важливу практичну інформацію про структуру вологи харчової сировини. Так метод ізостер, заснований на застосуванні рівняння Клапейрона-

Клаузіуса до залежностей рівноважного тиску водяної пари над поверхнею матеріалу від температури, полягає у наступному.

$$\bar{r}_{b\mu} = -R_G T^2 \frac{\partial(\ln p_{\infty w})}{\partial T}, \quad (1.55)$$

де  $p_{\infty w}$  – рівноважний тиск пари води, що відповідає рівноважному вологовмісту матеріалу за певної температури, Па;

$\bar{r}_{b\mu}$  – середня молярна теплота випаровуванням зв'язаної вологи, Дж/моль.

$$\bar{r}_{b\mu} = \bar{r}_b \mu_w. \quad (1.56)$$

Після інтегрування (1.55) одержують рівняння ізостери:

$$\ln p_{\infty w} = \frac{\bar{r}_{b\mu}}{R_G T} + const. \quad (1.57)$$

Для одержання залежності енергії зв'язку від загального вологовмісту необхідно знайти нахил ізостери.

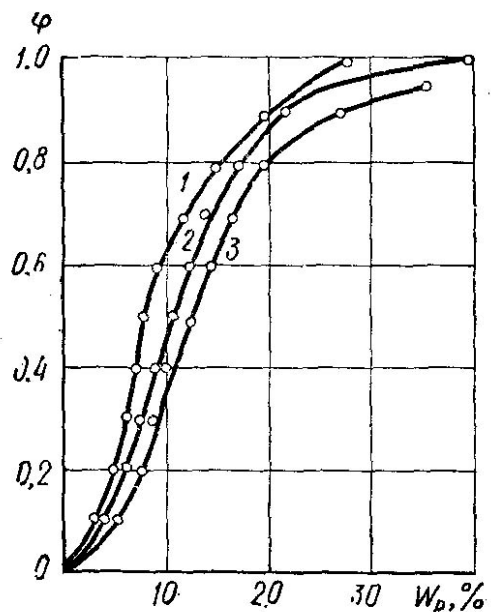


Рисунок 1.8 – Ізотерми десорбції сухого незбираного молока за різних температур

Найбільш розповсюдженим методом дотепер залишається метод БЕТ, розроблений Брунауером, Еммертом і Теллером, що виник як розвиток методу мономолекулярної сорбції Ленгмюра. Рівняння БЕТ має вигляд:

$$w_{\infty} = w_{\infty 0} \frac{C_B \varphi}{(1 - \varphi)[1 + (C_B - 1)\varphi]}, \quad (1.58)$$

де  $C_B$  – константа, що характеризує різницю енергій процесів адсорбції та конденсації.

Розраховані за експериментальними ізотермами коефіцієнти рівняння БЕТ  $w_{\infty 0}$  і  $C_B$  дозволяють оцінити ємність вологовмісту моношару та його енергію зв'язку.

$$\ln(C_B) = \frac{U_{0\mu}}{R_G T} + const, \quad (1.59)$$

де  $U_{0\mu} = U_{a\mu} - U_{k\mu}$  – питома молярна енергія зв'язку мономолекулярного шару, Дж/моль;

$U_{a\mu}$  – питома молярна енергія адсорбції мономолекулярного шару, Дж/моль;

$U_{k\mu}$  – питома молярна енергія конденсації полімолекулярних шарів, Дж/моль.

Рівняння ізотерми БЕТ фактично постулює поділ вологи на дві категорії: вологу моношару (зв'язана) і вологу полімолекулярної сорбції (вільна), тому добре описує реальні ізотерми тільки на початковій ділянці  $0 < \varphi < 0,3$ .

### Контрольні запитання

1. Що таке сушіння?
2. Охарактеризуйте форми зв'язку вологи із сухою речовиною.
3. Якими основними параметрами характеризується вологе повітря?
4. Що таке сорбція й десорбція вологи в сушеному продукті? Від чого залежить рівноважна вологість сушеного продукту?
5. Як відбувається процес конвективного сушіння? Дайте визначення вологопровідності та термовологопровідності?
6.  $I-d$ -діаграма вологого повітря. Як будується теоретичний процес сушіння?
7. Як розраховується матеріальний баланс сушарки?
8. Як розраховується тепловий баланс сушарки?
9. Як проводиться аналітичний розрахунок процесу сушіння?
10. Які чинники впливають на швидкість сушіння?

## РОЗДІЛ 2 ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

### 2.1. Основні положення нерівноважної термодинаміки

Процеси перенесення електрики, маси, теплоти тощо існують лише в нерівноважних системах, тобто таких, де властивості або параметри неоднакові в будь-яких точках системи або на її межі з довкіллям. У першому випадку кажуть про «перенесення», у другому – про «обмін». Система, що бере участь у обміні, є відкритою за відповідним потоком або за всіма можливими потоками. Останній випадок є загальним, але розглядається не дуже часто, тому що всі ці явища перебігають у часі, а час спостереження за системою може бути обмеженим.

Системи, що складаються з великої кількості частинок чи тіл, що взаємодіють чи не взаємодіють між собою, називають *макроскопічними*, або *термодинамічними*. Для їх опису користуються так званими параметрами та функціями стану, що мають сенс лише для всієї системи в цілому, тобто вимагають умови рівноваги стану за всіма властивостями системи. Застосування цих функцій і параметрів у випадках нерівноваги має обмеження. Поняттями рівноважної термодинаміки можна користуватися тоді, коли йдеться про тривалості, досить довгі для того, щоб взаємодія між окремими частинами системи встигла наблизити її до стану рівноваги, і досить короткі для того, щоб можна було знехтувати взаємодією системи з навколишнім середовищем. За помірних режимів процесів сушіння ці умови виконуються, що дає підстави для можливості використання основних законів і теорем термодинаміки.

Для термодинамічного опису нерівноважних процесів вводять поняття термодинамічних потенціалів. Найпоширенішим серед них є термодинамічний потенціал Гібса  $G$ , який ще називають ізобарно-ізотермічним потенціалом, енергією Гібса чи вільною ентальпією:

$$G = I - T \cdot S = F + p \cdot V = U + p \cdot V - T \cdot S, \quad (2.1)$$

де  $I$  – ентальпія, Дж;

$S$  – ентропія, Дж/К;

$F$  – вільна енергія (ізохорно-ізотермічний потенціал, енергія Гельмгольца), Дж;

$U$  – внутрішня енергія, Дж;

$P$  – тиск, Па;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$T$  – абсолютна температура, К.

Величини термодинамічних потенціалів пропорційні числу молей речовини  $\nu$ , а похідні за числом молей від термодинамічних потенціалів дають можливість знайти так званий хімічний потенціал  $\mu_i$   $i$ -го компонента в суміші, що складається з  $k$  речовин:

$$\mu_i = -T \cdot \left( \frac{\partial S}{\partial v_i} \right)_{UVv_k} = \left( \frac{\partial G}{\partial v_i} \right)_{Tp v_k} = \left( \frac{\partial F}{\partial v_i} \right)_{TVv_k} . \quad (2.2)$$

Фізичний сенс хімічного потенціалу – це енергія, яка необхідна для зміни вмісту певного компонента в обраній системі на 1 моль. Тому ця інтенсивна властивість речовини має стрибок за величиною не тільки на межі певного компонента з довкіллям, а й на межі між різними фазовими станами одного й того ж компонента. В останньому випадку це й зумовлює рівновагу (кінець сушіння) або сорбцію-десорбцію між вологою сировиною й оточуючим середовищем (рівність парціальних тисків пари). У разі хімічних реакцій необхідно враховувати стехіометричні коефіцієнти компонентів, які беруть участь у реакції. У будь-якому разі градієнт потенціалу викликає або може викликати потік речовини. Відповідно градієнти інших потенціалів (електричного, температури, імпульсу, тиску тощо) теж викликають відповідні потоки. Причину та спрямованість цих явищ визначають два закони (принципи): другий закон термодинаміки та закони збереження (енергії, маси, електрики тощо). Саме на них і базується теоретичний опис процесу сушіння – *динаміка* процесу сушіння.

Ентропія – екстенсивна величина, її зміну завжди можна подати як зміну за рахунок її надходження (стоку) з навколишнього середовища  $dS_e$  і за рахунок необоротних процесів, що відбуваються всередині системи  $dS_i$  в одиниці її об'єму:

$$dS = dS_e + dS_i . \quad (2.3)$$

При цьому відповідно до другого закону термодинаміки:

$$dS \geq \frac{dQ}{T} , \quad (2.4)$$

де  $dQ$  – кількість теплоти, що надходить до одиниці об'єму системи за температури  $T$  і зумовлена першим законом термодинаміки:

$$dQ = dU + p \cdot dV . \quad (2.5)$$

Якщо система ізольована за потоками енергії ( $dQ=0$ ) і маси, то з (2.4) випливає, що напрямок внутрішніх процесів завжди приводить до того, що ентропія всередині системи не змінюється (оборотні процеси) чи зростає (необоротні процеси):

$$dS = dS_i \geq 0 . \quad (2.6)$$

Особливо слід зазначити, що неможливі такі необоротні процеси, які відбувалися б у різних ділянках системи і при цьому зменшення ентропії в одній частині системи компенсувалося б збільшенням ентропії в іншій її частині. Іншими словами, взаємний вплив необоротних процесів можливий лише тоді, коли ці процеси відбуваються в тих самих ділянках макросистеми, при цьому нерівність обов'язково виконується.

Розглянемо ізольовану систему у вигляді сушильного агента, що має нескінченно велику величину ентальпії і який є зовнішнім середовищем відносно об'єкта сушіння – вологого матеріалу. Оскільки сушіння є необоротним процесом, то умова (2.6) має лише знак нерівності, а для об'єкта сушіння буде виконуватися рівняння (2.4), де  $dS_e$  – приплив (стік) ентропії з сушильного агента, а  $dS_i$  – зміна ентропії за рахунок процесів усередині об'єкта сушіння. При цьому  $dS_e$  може мати будь-який знак, а  $dS_i$  – лише позитивний і таку величину, щоб умова (2.6) завжди виконувалася. У випадку сушіння рівність у (2.6) означає, що система має максимум ентропії та знаходиться в рівноважному стані, тобто матеріал має температуру навколишнього середовища й рівноважний вологовміст, набагато менший початкового.

Якщо система в рівноважному стані описується незалежними змінними двох типів:  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , що є скалярами, і  $P_1, P_2, \dots, P_m$ , що є векторами, а відхилення від рівноважних значень цих параметрів можна позначити:

$$\alpha_i = \Pi_i - \Pi_i^0, \gamma_i = P_i - P_i^0, \quad (2.7)$$

то виробництво ентропії в одиниці об'єму системи за одиницю часу буде:

$$\beta = \frac{d\Delta S}{d\tau} = - \sum_{i,k=1}^n g_{ik} \cdot \alpha_k \cdot \frac{d\alpha_i}{d\tau} - \sum_{i,k=1}^m h_{ik} \cdot \gamma_k \cdot \frac{d\gamma_i}{d\tau}, \quad (2.8)$$

де

$$g_{ik} = \frac{\partial^2 \Delta S}{\partial \alpha_i \partial \alpha_k}, h_{ik} = \frac{\partial^2 \Delta S}{\partial \gamma_i \partial \gamma_k}. \quad (2.9)$$

Якщо ввести поняття потоків для відповідних параметрів як:

$$J_i = \frac{d\alpha_i}{d\tau}; I_i = \frac{d\gamma_i}{d\tau}, \quad (2.10)$$

і термодинамічних рушійних сил як:

$$X_i \equiv \frac{\partial \Delta S}{\partial \alpha_i} = - \sum_{k=1}^n g_{ik} \cdot \alpha_k; Y_i \equiv \frac{\partial \Delta S}{\partial \gamma_i} = - \sum_{k=1}^m h_{ik} \cdot \gamma_k, \quad (2.11)$$



то отримаємо відоме співвідношення Онзагера:

$$\beta = \sum_{i=1}^n J_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^m I_i \cdot Y_i \quad (2.12)$$

У загальному випадку будь-яка термодинамічна сила може викликати будь-який потік: градієнт температур приводить не лише до виникнення потоків теплоти, але й речовини та навпаки. Між потоками та рушійними силами в лінійній області нерівноважної термодинаміки застосовують таке співвідношення:

$$J_i = \sum_{k=1}^n L_{ik} \cdot X_k; \quad I_i = \sum_{k=1}^m L_{ik} \cdot Y_k, \quad (2.13)$$

де  $L_{ik}$  – феноменологічні коефіцієнти.

Феноменологічні коефіцієнти задовольняють співвідношенням взаємності Онзагера, що для загального випадку можна записати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} L_{ik}^{(\alpha\alpha)} &= L_{ki}^{(\alpha\alpha)} & (i, k = 1, 2, \dots, n), \\ L_{ik}^{(\alpha\gamma)} &= -L_{ki}^{(\gamma\alpha)} & (i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m), \\ L_{ik}^{(\gamma\gamma)} &= L_{ki}^{(\gamma\gamma)} & (i, k = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Таким чином, рівняння (2.13), що називають термодинамічним рівнянням руху, і рівняння (2.12), (2.14) дозволяють описати процеси перенесення в системі, що знаходяться поблизу рівноваги. При цьому враховується, що на потоки, викликані векторними термодинамічними силами (градієнтами, тензори 1-ого рангу), не впливають скалярні термодинамічні сили (наприклад, локальні величини кінетичної енергії, хімічні реакції, тензори 0-ого рангу), оскільки для останніх відсутня спрямованість поширення потоку. Тензори 2-ого рангу (тензори як такі, наприклад, імпульс) впливають на потоки, що викликані скалярними величинами, тобто зміна імпульсу викликає потоки маси, теплоти в хімічних реакціях. *Загальне правило: спрягаються потоки, що викликані тензорами одного рангу, або потоки, у яких різниця між рангами парна.* Але будь-які термодинамічні сили приводять до виробництва ентропії (2.12).

## 2.2. Система диференційних рівнянь для процесу сушіння

Систему диференційних рівнянь для процесу сушіння отримано вперше О.В. Ликовим, який провів аналогію між процесами перенесення теплоти й маси. Для цього він увів уявлення про масопровідність: величина потоку маси описується аналогічно рівнянню Фур'є щодо теплопровідності. Ураховуючи також співвідношення Онзагера, а саме те, що рушійними силами під час

сушіння є градієнти маси (вологівмісту), температури, тиску і такі математичні операції:

$$\frac{\partial A}{\partial \tau} = -\operatorname{div} J_A + I_A, \quad \operatorname{div}(\operatorname{grad}) = \nabla^2,$$

було отримано наступну систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial \tau} &= k_{11} \nabla^2 w + k_{12} \nabla^2 t + k_{13} \nabla^2 p \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} &= k_{21} \nabla^2 w + k_{22} \nabla^2 t + k_{23} \nabla^2 p \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} &= k_{31} \nabla^2 w + k_{32} \nabla^2 t + k_{33} \nabla^2 p \end{aligned} \right\}, \quad (2.15)$$

де  $k_{ii}$  – коефіцієнти дифузії, теплопровідності, фільтрації;

$k_{ii}$  – коефіцієнти сполучених процесів, що враховують потоки маси за рахунок потоку теплоти (ефект Соре); потоки теплоти за рахунок потоку маси (ефект Дюфо); конвективні потоки за рахунок градієнта тиску.

Умовами однозначності для цих рівнянь є закони Ньютона-Ріхмана (конвективне перенесення теплоти); закон Дальтона (перенесення маси за рахунок різниці парціального тиску), а також умови для границі поділу (стала температура, сталий тиск, певний тепловий напір тощо).

Розв'язання цих рівнянь є окремою фізико-математичною задачею й частіше такою, що не має аналітичного рішення. Тому використовують різноманітні варіаційні методи для знаходження рішення за певних спрощень цих рівнянь.

Але на підставі закону збереження можна отримати інтегральне (основне, загальне, феноменологічне) рівняння конвективного процесу сушіння:

$$J_q = J_h + J_w = \frac{mcdt}{Fd\tau} + \frac{rdm}{Fd\tau},$$

або

$$J_q = \rho_d R_v r \frac{dW}{d\tau} \left(1 + \frac{cdt}{rdW}\right), \quad (2.16)$$

де  $Rb = \frac{cdt}{rdW}$  – критерій Ребіндера;

$R_v = \frac{V}{F}$  – критерій геометричної форми;

$\rho_d$  – густина сухої речовини.

### 2.3. Випаровування з вільної поверхні. Потенціал сушіння

Процес сушіння матеріалу складається з переміщення вологи всередині матеріалу, пароутворення та переміщення вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище. Під час зіткнення вологого матеріалу з нагрітим повітрям рідина на поверхні випаровується і шляхом дифузії залишає поверхню матеріалу, переходячи в навколишнє середовище.

У найпростішому випадку випаровування відбувається на поверхні матеріалу, а пара, що утворюється, дифундує в навколишнє середовище. У більш складних випадках випаровування відбувається всередині матеріалу, причому переміщення вологи всередині матеріалу відбувається як у вигляді рідини, так і у вигляді пари. Швидкість переміщення вологи всередині матеріалу залежить від форми зв'язку її з матеріалом, тому процес сушіння є фізико-хімічним.

Отже, характер перебігу процесу сушіння визначається механізмом переміщення вологи всередині матеріалу, енергією випаровування та механізмом переміщення вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище через так званий приграничний шар, що знаходиться поблизу поверхні матеріалу. У такий спосіб процес сушіння складається із зовнішнього тепломасообміну та внутрішнього тепломасоперенесення.

Поверхня рідини, що стикається лише з газовим середовищем, називається *вільною поверхнею*. Під час випаровування над поверхнею води утворюється прикордонний шар насиченої водяної пари, що має температуру рідини, що випаровується. Тиск пари  $h$  у прикордонному шарі дорівнює парціальному тиску  $h_n$  насиченої пари за температури рідини, що випаровується.

Швидкість випаровування води з вільної поверхні визначається рівнянням Д. Дальтона з пізніше введеним виправленням на барометричний тиск

$$j_w = C \frac{h_n - h}{B}, \quad (2.17)$$

де  $j_w$  – щільність потоку випаровування рідини,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;

$C$  – коефіцієнт випаровування;

$B$  – загальний барометричний тиск, Па.

Із рівняння (2.17) випливає, що швидкість випаровування обернено пропорційна тиску, проте в умовах вакууму такої пропорційності не спостерігається.

Коефіцієнт випаровування залежить від швидкості руху повітря  $v$ . У нерухомому повітрі ( $v=0$ ) товщина шару пари над поверхнею випаровування збільшується, і випаровування поступово припиняється ( $C=0$ ). За умови збільшення швидкості руху повітря над вільною поверхнею води шар пари над нею зменшується, оскільки видаляються частинки повітря, насичені паром, що

приводить до збільшення коефіцієнта випаровування. Проте за великої швидкості руху повітря вплив її на процес випаровування стає незначним, тому що товщина прикордонного шару пари змінюється незначно і швидкість випаровування вологи визначається швидкістю утворення пари.

Під час випаровування рідини й утворення потоків пари виникають конвективні струми. Водяна пара, молекулярна маса якої менша ніж повітря, утворює конвективні струми, спрямовані нагору від поверхні води. Це сприяє перенесенню молекул пари в навколишнє повітря та прискорює випаровування.

О.В. Ликов запропонував узагальнене рівняння швидкості випаровування рідини з вільної поверхні:

$$j_w = A \frac{\mu_w DL}{RT_n} (h_n - h), \quad (2.18)$$

де  $A$  – безрозмірна величина, що характеризує швидкість випаровування:

$$A = K Re^n = K \left( \frac{v \cdot l}{\nu} \right)^n, \quad (2.19)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса, що визначає аеродинамічні умови випаровування;

$v$  – швидкість руху повітря, м/с;

$\nu$  – кінематична в'язкість повітря, м<sup>2</sup>/с;

$l$  – розмір поверхні випаровування в напрямку повітряного потоку, м.

Спочатку визначають значення критерію Рейнольдса, а потім  $A$ . За умови  $Re=200\dots20000$ :

$$A=0,5Re^{0,58}, \quad (2.20)$$

за умови  $Re=20000\dots200000$ :

$$A=0,85Re^{0,76}, \quad (2.21)$$

де  $\mu_w$  – молярна маса рідини, що випаровується, кг/моль;

$L$  – ширина поверхні випаровування в напрямку, перпендикулярному напрямковій руху повітря, м;

$D$  – коефіцієнт дифузії пари в повітрі:

$$D = D_0 \left( \frac{T_n}{T_0} \right)^2 \frac{B}{B_0}, \quad (2.22)$$

де  $D_0$  – коефіцієнт дифузії за  $T_0=273$  К і атмосферного тиску  $B_0=0,1013$  мПа;

$D_0=10^5$  м<sup>2</sup>/с;

$T_n$  – температура пароповітряної суміші в приграничному шарі:

$$T_{\Pi} = \frac{1}{2}(T_{\text{жс}} - T_c), \quad (2.23)$$

де  $T_{\text{жс}}$  – температура поверхні рідини (приймається температура рідини), К;

$T_c$  – температура навколишнього повітря, К.

*Потенціал сушіння* визначає здатність повітря випаровувати вологу, являє собою адиабатичну психрометричну різницю температур за показниками сухого та мокрого термометрів:

$$E = t^C - t^M. \quad (2.24)$$

Кулька мокрого термометра щільно обмотана шматочком бавовняного матеріалу, кінець якого опущений у стакан із дистильованою водою. Під дією капілярних сил вода безупинно надходить до кульки термометра і його поверхня постійно змочується. На випаровування вологи витрачається теплота, тому змочений термометр показує температуру більш низьку, ніж сухий. Інтенсивність випаровування води з мокрого термометра тим більша, чим менше утримується водяної пари в навколишньому повітрі. При цьому більше різниця в показниках обох термометрів. Отже, за показниками психрометра можна визначити вологість повітря та швидкість випаровування вологи з матеріалу. Для цього використовується рівняння:

$$h = h_n - AB(t^C - t^M), \quad (2.25)$$

де  $h$  – парціальний тиск пари в повітрі, Па;

$h_n$  – тиск насиченої водяної пари за  $t$ , Па;

$B$  – барометричний тиск повітря, Па;

$A$  – психрометрична стала.

$$A = \frac{\alpha}{Cr}. \quad (2.26)$$

де  $r$  – прихована теплота випаровування, кДж/кг;

$C$  – коефіцієнт випаровування;

$\alpha$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від повітря до води, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (сума коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням і коефіцієнта тепловіддачі конвекцією).

За малих швидкостей повітря значення  $A$  швидко зростає зі збільшенням швидкості. За великих значень швидкості руху повітря  $A$  незначно змінюється зі зміною швидкості.

У 1883 р. К.А. Зворикін експериментально вивів рівняння психрометричної сталої

$$A \cdot 10^6 = 593,1 + 135,1\sqrt{v} + \frac{48}{v}, \quad (2.27)$$

де  $v$  – швидкість руху повітря біля психрометра, м/с.

Потенціал сушіння відображає спільний вплив температури й вологості повітря на процес сушіння, визначає швидкість випаровування вологи з матеріалу, характеризує сушильну здатність повітря і тому є основою типового розрахунку процесів випаровування та сушіння. З урахуванням теплового балансу потенціал сушіння:

$$E = \frac{r}{c_{en}} \frac{d_n - d}{1000}, \quad (2.28)$$

де  $r$  – прихована теплота випаровування, кДж/кг;

$c_{en}$  – теплоємність вологого повітря, кДж/(кг·К).

Швидкість випаровування води з вільної поверхні, крім рівняння Д. Дальтона (2.1), можна також виразити залежністю:

$$j_W = \frac{\alpha}{r} (t^C - t^M) = \frac{\alpha}{c_{en}} \frac{d_n - d}{1000}. \quad (2.29)$$

Це рівняння застосовується в умовах, коли процес випаровування відбувається за змінних параметрів повітря.

#### 2.4. Зовнішній тепло- та масообмін і їхній взаємний зв'язок під час сушіння

До питань динаміки сушіння належить теоретичне й експериментальне вивчення еволюції полів фізичних величин у системі «навколишнє середовище – об'єкт сушіння». У сушарці штучно створюються нерівноважні зовнішні умови для вологи, що утримується в харчовій сировині: гідродинамічні –  $\vec{v}_\infty, p_\infty$ , теплові –  $T_\infty$ , і поля концентрацій –  $\rho_\infty$  сушильного агента. В об'єкті сушіння, що характеризується вологовмістом –  $w$ , температурою –  $T$ , тиском парогазової суміші –  $p$ , і об'ємом –  $V$ , виникають необоротні дифузійні та фільтраційні потоки маси –  $\vec{j}_w, \vec{j}_p$ , теплоти –  $\vec{j}_T$ , імпульсу –  $\vec{j}_V$ . У результаті цих потоків змінюються як зовнішні фізичні поля в сушильному агенті, так і внутрішні поля в об'єкті сушіння, що стають нестационарними. Змінюється вологовміст, температура, тиск парогазової суміші. Унаслідок зміни форми й об'єму тіла, викликані або усадкою, або барометричною деформацією під дією тиску парогазової суміші, в об'єкті сушіння можуть виникати поля механічних напружень. За умови досягнення об'єктом сушіння нового стаціонарного стану з параметрами  $w_\infty, T_\infty, p_\infty, V_\infty$ , зникають внутрішні поля та зв'язані з ними потоки. Таким чином, процеси зовнішнього і внутрішнього перенесення виявляються сполученими. Фізичною границею між зовнішнім середовищем і

об'єктом сушіння є тонкий приграничний шар, що чинить, як правило, основний опір дифузійному тепломасообміну.

Формула Дальтона (2.1) є наближеною, тому що парціальний тиск пари не є потенціалом перенесення пароподібної вологи. Крім того, формула Дальтона, що відображає взаємодію вологого тіла з навколишнім середовищем, справедлива лише для стаціонарного процесу вологоперенесення (випаровування рідини з вільної поверхні, сушіння в період постійної швидкості). Для нестаціонарних процесів вологоперенесення формулу Дальтона не можна застосувати, тому що коефіцієнт вологообміну буде функцією часу.

За конвективного сушіння температура поверхні тіла спочатку дорівнює температурі мокрого термометра, а потім починає зростати. У разі радіаційно-конвективного сушіння температура поверхні тіла вища температури мокрого термометра із самого початку сушіння. Експериментальними дослідженнями було встановлено, що коефіцієнт теплообміну в процесі сушіння більший, ніж коефіцієнт «чистого» теплообміну за тих самих умов. При цьому коефіцієнт теплообміну є величиною постійною лише в початковий період сушіння, а потім він безупинно зменшується, поступово наближаючись до величини коефіцієнта теплообміну сухого тіла. Загальна закономірність полягає в тому, що зі збільшенням інтенсивності сушіння коефіцієнт теплообміну зростає.

При цьому під час заглиблення зони випаровування всередину тіла число Нусельта буде більше, ніж під час теплообміну без заглиблення зони випаровування. Таким чином, зовнішній теплообмін у процесі сушіння визначається механізмом заглиблення зони випаровування всередину тіла, тобто нерозривно зв'язаний із внутрішнім тепло- і вологоперенесенням. Отже, рішення задач зовнішнього тепло- і вологообміну в процесі сушіння зводиться до розв'язання сполучених задач теплообміну.

Для наближених розрахунків інтенсивність тепло- і масообміну в процесі сушіння визначається на основі критеріальних рівнянь, побудованих на гіпотезі про повну подібність полів концентрацій і температур над поверхнею випаровування. Ураховуючи це, дифузійний критерій Нусельта  $Nu_m$  повинен дорівнювати або бути прямо пропорційний тепловому критерію Нусельта ( $Nu_m \sim Nu$ ).

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (2.30)$$

$$Nu_m = \frac{\alpha_m \cdot l}{D}, \quad (2.31)$$

де  $\alpha_m$  – коефіцієнт масообміну;

$D$  – коефіцієнт дифузії пари повітря.

За даними Н.Ф. Докучаєва критерій  $Nu_m$  більший теплообмінного критерію  $Nu$  приблизно на 25%. Це співвідношення зберігається лише у вузькій області відносної вологості  $\varphi$  від 40 до 60%, коли критерій  $Re$  змінюється від

3000 до 30000. Досліди О.В. Нестеренка показали, що зі збільшенням  $\varphi$  відношення  $Nu_m/Nu$  зменшується, наближаючись до одиниці за  $\varphi=100\%$ .

Коефіцієнти тепло- і масообміну, що входять у (2.30) та (2.31), визначаються за такими співвідношеннями:

$$\alpha(T_\infty - T_s) = j_T, \quad (2.32)$$

$$\alpha_m(p_s - p_\infty) = j_m, \quad (2.33)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну;

$\alpha_m$  – коефіцієнт масообміну;

$T_s$  – температура поверхні об'єкта тіла;

$p_s$  – парціальний тиск пари води на поверхні тіла;

$j, j_m$  – густина потоку теплоти й маси відповідно;

$p_\infty$  – парціальний тиск пари в ядрі потоку.

Іноді густину потоку маси  $j_m$  визначають через поточний вологовміст на поверхні матеріалу  $W_s$  і рівноважний вологовміст:

$$\beta_w(W_s - W_\infty) = j_m, \quad (2.34)$$

де  $W_s$  – вологовміст на поверхні матеріалу.

Коефіцієнти тепло- і масообміну змінюються в процесі сушіння внаслідок сполученості зовнішніх і внутрішніх явищ перенесення.

У результаті оброблення численних даних тепло- і масообміну за умови змушеного руху вологого газу О.В. Нестеренком було встановлено таке співвідношення:

$$Nu = 2 + A Pr^{0,33} Re^n Gu^m, \quad (2.35)$$

$$Nu_m = 2 + A_m Pr_m^{0,33} Re^k Gu^q, \quad (2.36)$$

де  $Pr = \nu/a$ ,  $Pr_m = \nu/D$  – критерій Прандтля;

$Gu = (T_C - T_M)/T_C$  – критерій Гурмана;

$\nu$  – кінематична в'язкість повітря;

$a$  – коефіцієнт температуропровідності;

$T_C, T_M$  – температура сухого й мокрого термометра, К.

Постійні в рівняннях (2.35) та (2.36) залежно від  $Re$  набувають значень, що наведені в табл. 2.1.



Таблиця 2.1 – Постійні залежно від Re

Значення Re	$A$	$n$	$m$	$A_m$	$k$	$q$
Re=1...200	1,07	0,48	0,175	0,83	0,53	0,135
Re=3,15·10 <sup>3</sup> ...2,2·10 <sup>4</sup>	0,51	0,61	0,175	0,49	0,61	0,135
Re=2,2·10 <sup>4</sup> ...3,15·10 <sup>5</sup>	0,027	0,90	0,175	0,0248	0,90	0,135

## 2.5. Механізми внутрішнього тепломасоперенесення в процесі сушіння

Випаровування вологи з поверхні матеріалу створює перепад вологовмісту між внутрішніми шарами та поверхневим шаром, що викликає зумовлене дифузією переміщення вологи до поверхневих шарів. Наявність температурного градієнта всередині матеріалу ускладнює механізм перенесення вологи. Під впливом перепаду температури (температура поверхні матеріалу вища температури центральних шарів) волога переміщується всередину тіла (під впливом термодифузії волога переміщується в напрямку потоку теплоти).

Зазвичай за малих температурних перепадів термодифузія невелика і підсумковий потік вологи збігається з потоком концентраційної дифузії. У капілярно-пористих тілах, коли випаровування відбувається всередині тіла, дифузійному потоку сприяє дифузія ковзання, за якої перенесення вологи відбувається проти потоку теплоти.

Таким чином, у процесі сушіння ми маємо безперервне підведення вологи з внутрішніх шарів матеріалу до поверхневих, унаслідок чого зменшується вологість не лише на поверхні, але й у глибині матеріалу. Загальний потік вологи всередині матеріалу дорівнює:

$$j = a_m \rho_0 \nabla W - a_{mT} \rho_0 \nabla T - k_p \nabla p, \quad (2.37)$$

де  $a_m$  – коефіцієнт дифузії вологи;

$a_{mT}$  – коефіцієнт термодифузії вологи;

$k_p$  – коефіцієнт молярного перенесення вологи під впливом градієнта тиску  $\nabla p$ , викликаний кипінням рідини (під час сушіння нагрітим повітрям за  $t_c < 100^\circ \text{C}$  звичайно відсутній ( $p = \text{const}$ ));

$\rho_0 = m_0 / V$  – об'ємна концентрація сухих речовин.

Якщо дифузія ковзання є позитивним чинником у термодифузійному перенесенні вологи, то коефіцієнт термодифузії  $a_{mT}$  буде негативним. З урахуванням цього система рівнянь для процесів тепломасоперенесення під час сушіння має такий вигляд:

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 W + a_{mT} \nabla^2 T + a_p c_p^a \nabla^2 p, \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_m \frac{r_w \varepsilon_w}{c} \nabla^2 W + \left( a_T + a_{mT} \frac{r_w \varepsilon_w}{c} \right) \nabla^2 T + a_p c_p^a \frac{r_w \varepsilon_w}{c} \nabla^2 p, \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = -a_m \frac{\varepsilon_w}{c_{kp}} \nabla^2 W - a_{mT} \frac{\varepsilon_w}{c_{kp}} \nabla^2 T + a_p (1 - \varepsilon_w) \nabla^2 p, \quad (2.40)$$

де  $a_T$  – коефіцієнт температуропровідності;

$a_p$  – коефіцієнт конвективної фільтраційної дифузії;

$c_p^a$  – коефіцієнт ємності вологого повітря в пористому тілі;

$\varepsilon_w$  – коефіцієнт фазового перетворення – відношення кількості випаруваної вологи до вологовмісту в певному об'ємі (за  $\varepsilon_w = 0$  волога переміщається лише у вигляді рідини, за  $\varepsilon_w = 1$  – лише у вигляді пари);

$c = c_0 + c_w W$  – приведена питома теплоємність вологого тіла;

$c_0$  – питома теплоємність сухих речовин;

$c_w$  – питома теплоємність води;

$\nabla^2$  – диференціальний оператор Лапласа.

Рішення рівнянь (2.38)–(2.40) можливе за відповідних крайових умов, що дозволяє одержати поля температури й вологовмісту в будь-який момент часу для тіл визначеної геометричної форми. Проте практично вирішити ці рівняння неможливо, тому що всі коефіцієнти перенесення є величинами змінними та знаходяться в складній, часто невизначеній, залежності від температури й вологовмісту матеріалу. Тому в інженерній практиці під час визначення вологовмісту й температури матеріалу користуються спрощеними методами розрахунку із застосуванням експериментально визначених коефіцієнтів.

Використовуючи систему диференціальних рівнянь тепломасообміну можна легко довести, що процеси перенесення, які спостерігаються під час сушіння, взаємно впливають один на одного, тобто є сполученими. Для цього припустимо, що під час сушіння не спостерігається зміна тиску, тобто є тільки потоки маси  $j_m$  та теплоти  $j_q$ , які озумовлені відповідними термодинамічними силами  $X_m$  та  $X_t$ :

$$\left. \begin{aligned} j_m &= k_{11} X_m + k_{12} X_t \\ j_q &= k_{21} X_m + k_{22} X_t \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

Із теорії Онзагера про симетричність коефіцієнтів  $k_{12} = k_{21}$  та за умови сталості коефіцієнтів перенесення, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} dj_m &= k_{11} dX_m + k_{12} dX_t \\ dj_q &= k_{21} dX_m + k_{22} dX_t \end{aligned} \right\}$$

розглянувши приватні похідні, за умови сталості сполученої сили:

$$\left(\frac{\partial j_m}{\partial X_t}\right)_{X_m} = \left(\frac{\partial j_q}{\partial X_m}\right)_{X_t} . \quad (2.42)$$

Зміна потоку маси, віднесена до зміни термодинамічної сили потоку енергії, дорівнює відповідній зміні потоку енергії віднесеної до зміни термодинамічної сили потоку маси. Це має велике значення для технології сушіння. Із цього випливають такі прийоми, як змінні режими сушіння: тимчасове підвищення температури агента сушіння призводить до збільшення рушійної сили теплоперенесення, яка викликатиме більший потік маси. Також певного ефекту можна досягти під час вирівнювання полів вологовмісту, зупиняючи та запускаючи процес сушіння. Значного ефекту в інтенсифікації сушіння можна досягти під час використання комбінованого енергопідведення, бо в цьому разі виникають рушійні сили, що сприяють потокам маси. У будь-якому разі необхідно відзначити, що нагрівання сировини тісно пов'язане з випаровуванням вологи й навпаки: якщо за певних умов припинити потік маси, то сировина нагріється до температури рівноваги з оточуючим середовищем. Тому важливо, щоб під час сушіння утворювалися структури (наприклад, пори), які б сприяли перетворенню енергії в ентальпію випареної вологи.

### Контрольні запитання

1. У чому полягає суть поняття «термодинамічна система»?
2. Які термодинамічні потенціали Ви знаєте?
3. У чому полягає суть основних положень нерівноважної термодинаміки?
4. Опишіть процес сушіння з точки зору нерівноважної термодинаміки.
5. Що називають «вільною поверхнею»? Як визначається потенціал сушіння?
6. Яким рівнянням визначається швидкість випаровування вологи з вільної поверхні?
7. Як змінюється коефіцієнт теплопровідності в процесі сушіння?
8. Як змінюється температура поверхні в процесі сушіння?
9. Якими критеріями подібності визначається зовнішній тепло- та масообмін?
10. У чому полягає зв'язок між зовнішніми тепло- та масообмінами?
11. Які чинники впливають на внутрішнє тепломасоперенесення в процесі сушіння?

## РОЗДІЛ 3 КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

### 3.1. Загальні положення. Способи визначення кінетики сушіння

Вологовміст сировини, що зневоднюється, змінюється з часом. Зміна середнього вологовмісту сировини з часом називається *кінетикою сушіння*. При цьому термін «середній вологовміст» потребує деяких пояснень. По-перше, зневоднення характеризується певною нерівномірністю за об'ємом кожного шматочка (частинки) сировини. Це зумовлено тим, що зовнішній масообмін за інтенсивністю більший, ніж внутрішнє масоперенесення. Особливо це спостерігається за інтенсивних режимів сушіння (сухе повітря, велика швидкість руху, висока температура сушильного агента). По-друге, спостерігається певна нерівномірність зневоднення за об'ємом робочої камери сушарки та від шматочка до шматочка. Усі ці чинники потребують визначення середнього вологовмісту як середньостатистичної величини (інтегральної) для певної кількості об'єкта зневоднення.

Завдання технолога сушильного виробництва – довести до мінімуму розбіжності за вологовмістом за об'ємом робочої камери сушарки. Це досягається рівномірним розподілом навантаження сировини на транспортуючих поверхнях сушарки, мінімальною розбіжністю параметрів сушильного агента за температурою та швидкістю в різних зонах робочої камери.

Визначати кінетику сушіння можна лише експериментальним шляхом, бо масу можна тільки вимірювати, а не розраховувати. При цьому використовують два основних методи: *прямий* – вимірюють поточну масу сировини; *непрямий* – коли вимірюють вибрану фізичну величину, яка залежить від маси сировини або кількості випареної вологи.

*Прямий метод* вимірювання найпростіший, але погано піддається автоматизації та потребує певного часу. При цьому певну (контрольну, або повну) масу зразків періодично вимірюють на вагах. Період вимірювання за звичайних умов збільшується з часом, оскільки кількість випареної вологи зменшується. Наприклад, спочатку масу зразків вимірюють через кожні 2–3 хвилини, потім 5–10, потім 15–20. Наприкінці сушіння, якщо необхідно визначити точний час, період вимірювання маси зменшують. Сушіння вважається закінченим, коли за умов сушіння маса зразка не змінюється. Після завершення сушіння визначають кількість сухої речовини в зразках. Для цього беруть певну кількість сушеної продукції і висушують у сушильній шафі до сталої маси за температури 105° С. За визначеною величиною розраховують поточний вологовміст сировини під час сушіння та наносять отримані дані на графік: *зміна вологовмісту з часом, що й називається кривою кінетики сушіння, або просто – крива сушіння*. Необхідно відзначити, що ця крива містить найважливішу інформацію як для вивчення процесу сушіння, так і для умов виробництва. Її необхідно мати: для визначеного обладнання як характеристику цього обладнання; для певної сировини як характеристику

поведінки сировини в цій сушарці; для діапазону режимів сушіння та вибраних операцій попередньої підготовки сировини до сушіння; для складання технологічної карти та вибору раціональних режимів сушіння. Але раціональний режим сушіння харчової сировини вибирається не лише виходячи з кінетики сушіння, енергетичних питомих витрат на процес, а насамперед з огляду на якість готової сушеної продукції.

Для отримання кривої сушіння непрямими методами вимірювання використовують факт зміни вологовмісту (парціального тиску) пари в сушильному агенті, який можна визначати безпосередньо під час сушіння шляхом вимірювання різниці температури «мокрого» термометра на вході та виході з камери сушіння. Можна також вимірювати кількість конденсату з агента сушіння, що також є показником кінетики сушіння. Але ці методи мають певні похибки, що пов'язані як з точністю вимірювання «мокрого» термометра (існує залежність від швидкості руху повітря), так і умовністю щодо моделювання самого експерименту.

У Харківському державному університеті харчування та торгівлі розроблено непрямий спосіб аналізу кінетики сушіння. Він заснований на рівнянні теплового балансу для конвективного сушіння зважаючи, насамперед, що при цьому способі сушіння теплота для нагрівання сировини та випаровування вологи надходить лише від потоку агента сушіння. За умови сталої витрати агента сушіння різниця його температури на вході та виході з камери сушіння пропорційна кількості теплоти, що витрачається на процес. Вимірюючи також поточну температуру сировини, за певною формулою за допомогою ПК у пакеті програм Mathcad відновлюють криву сушіння. Цей метод дуже інформативний, оскільки фіксує відгук вологої сировини на теплову дію. За допомогою нього можна визначати ще й теплофізичні властивості сировини, які змінюються під час сушіння.

### **3.2. Крива сушіння та її аналіз. Періодизація кривої сушіння**

На рис. 3.1 наведено приклад узагальнених кривих сушіння колоїдних капілярно-пористих тіл (ККПТ), до яких належить майже вся харчова сировина рослинного походження. Суцільною лінією позначено криву конвективного сушіння ККПТ; пунктирною – конвективне сушіння колоїдного тіла; штрихпунктирною – криву сушіння змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння).

Найпоширенішою з названих є перша крива. На ній виділяють дві основних ділянки, що відокремлені вертикальною лінією: перший період – період сталої швидкості (зліва); другий – період спадної швидкості. Ці ділянки розділяються *критичним вологовмістом* ( $W_k$ ), який визначається по точці злому прямої (першого періоду).

Друга (пунктирна) крива не має першого періоду та характеризується лише періодом спадної швидкості. Деякі автори другий період підрозділяють на два: період спадної та спадаючої швидкості.

За кривими сушіння визначають швидкість процесу як першу похідну вологовмісту за часом  $dW/d\tau$ . Щоб визначити максимальну швидкість сушіння в період постійної швидкості, пряму періоду постійної швидкості сушіння продовжують до перетинання з віссю абсцис і знаходять тангенс кута нахилу цієї лінії:

$$N = \operatorname{tg} \sigma_{\max} = (dW / d\tau)_{\max} . \quad (3.1)$$

Періодизацію кривої сушіння пояснюють різними формами вологи, що видаляється на різних етапах сушіння, а також початком заглиблення зони випаровування. Експериментально встановлено, що нахил прямої (швидкості першого періоду сушіння) залежить майже від усіх зовнішніх та внутрішніх чинників процесу, і насамперед від швидкості руху, вологості й температури сушильного агента, природи, вологовмісту та стану поверхні сировини. Другий період сушіння більш тривалий, оскільки визначається швидкістю видалення зв'язаної вологи (становить більше 60...80% від загального часу). На тривалість цього періоду в першу чергу впливає температура сировини, яку вона має в цей момент часу, спосіб теплопідведення (радіаційний, НВЧ), оскільки інтенсивність видалення вологи залежить саме від температури й майже не залежить від швидкості руху сушильного агента. Скоротити цей період можна також за рахунок таких технологічних операцій, які б призводили до меншого вмісту зв'язаної вологи або прискорювали б перший період сушіння (сушіння характеризується певною інерційністю). Останні прийоми стосуються матеріалів, які висушуються за другою кривою, тобто не мають періоду сталої швидкості.

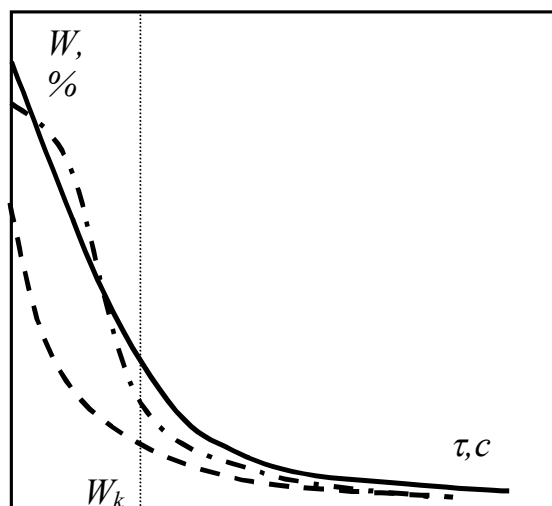


Рисунок 3.1 – Криві сушіння

Третій тип кривої характерний насамперед для ЗТП-сушіння (сушіння змішаним теплопідведенням). За цього способу сушіння спостерігаються три періоди (ділянки): період зростаючої швидкості сушіння; період максимальної швидкості; період спадної швидкості сушіння. Розподіл тривалості цих періодів

зовсім інший: кожен із них становить приблизно  $1/3$  від загальної тривалості процесу. Це зумовлено тим, що за цього способу розвивається поверхня випаровування від початку сушіння й досягає максимуму в період, де спостерігається максимум швидкості сушіння. За цих умов третій період має відносно коротку тривалість, бо утворені пори та пустоти сприяють інтенсивному прогріванню об'єкта та швидкому видаленню зв'язаної вологи за рахунок механізмів ефузії та теплового ковзання. Крім того, цей спосіб характеризується суттєвим взаємним впливом енергетичних і масових потоків: зміни в одному швидко відстежуються змінами сполученого до нього потоку. Для цього способу сушіння залежність тривалості від природи сировини не суттєва. Більш суттєвою є залежність: від швидкості руху агента сушіння, навантаження сировини на функціональну місткість; товщини функціональної місткості; ступеня здрібнення сировини; температури сушіння та деяких чинників, що характерні лише для цього способу. Цей штучний спосіб сушіння характеризується двома положеннями рівноваги функціональної місткості із сировиною (об'єкта сушіння) в оточуючому середовищі: нестійкою – за високого вологовмісту, де може відбуватися тільки нагрівання сировини до температури сушіння, та стійкою – наприкінці сушіння.

Найчастіше період прогріву слабо виражений і його поєднують із періодом постійної швидкості сушіння. Періодизація кінетики за ознакою постійної та падаючої швидкості сушіння введена ще на початку минулого століття О.В. Косовичем. О.В. Ликов у 30-х роках минулого століття запропонував розділяти періоди сушіння виходячи з кінетики температури.

У період падаючої швидкості сушіння процес сповільнюється в міру зниження вологовмісту матеріалу. Температура матеріалу при цьому безупинно зростає, наближаючись у кінці процесу сушіння до температури сушильного агента. Поступове зменшення швидкості сушіння в цей період зумовлюється збільшенням енергії зв'язку вологи з матеріалом і поглибленням зони випаровування в міру зниження вологості. Період падаючої швидкості сушіння закінчується досягненням рівноважного вологовмісту, після чого видалення вологи припиняється, і швидкість сушіння стає рівною нулю. Отже, у період падаючої швидкості сушіння інтенсивність видалення вологи залежить від параметрів агента сушіння, вологовмісту, фізико-хімічних властивостей матеріалу та характеру зв'язку вологи з матеріалом.

### **3.3. Математичні моделі кінетики вологовмісту. Рівняння для визначення тривалості сушіння та методики їх використання**

Аналітично криву сушіння можна отримати, розв'язавши систему диференціальних рівнянь. Але це дуже складна задача, якщо йдеться про певний спосіб сушіння та конкретну сировину. Тому використовують на практиці емпіричні рівняння, які мають фізичний сенс та описують криві сушіння. Зазвичай ці рівняння представляють як деякі функції вологовмісту від часу. У ці функції входять певні коефіцієнти, що знаходять для певних умов і сировини

експериментальними вимірюваннями та регресійним аналізом. Із цих коефіцієнтів складають таблиці, якими користуються на практиці працівники.

Математичні моделі, які використовуються для опису кінетики процесу сушіння, одержують аналітичними або емпіричними методами. Аналітичні методи засновані на усередненні за об'ємом аналітичних виразів, що описують поля фізичних величин у процесі сушіння. Зокрема, О.В. Ликов одержав рівняння кінетики сушіння, виходячи з рішення диференціального рівняння вологоперенесення для плоскої пластини в припущенні відсутності термодифузії та градієнта тиску. У першому періоді сушіння припущено, що тепловий потік, який підводиться до тіла, постійний і витрачається тільки на випаровування. Рівняння кінетики середнього вологовмісту при цьому має вигляд:

$$W = W_0 - N\tau, \quad (3.2)$$

$$N = \frac{\beta_p (p_M - p_\infty)}{l\rho_0}, \quad (3.3)$$

де  $\beta_p$  – коефіцієнт вологообміну, віднесений до різниці парціальних тисків пари;

$p_M, p_\infty$  – парціальний тиск насиченої пари й тиск пари в повітрі;

$l$  – напівтовщина пластини матеріалу.

У другому періоді сушіння припущено, що має місце параболічний профіль вологовмісту за товщиною пластини. Для кінетики середнього вологовмісту О.В. Ликовим отримано такий вираз:

$$\frac{W - W_\infty}{W_k - W_\infty} \approx \exp(-K\tau), \quad (3.4)$$

де  $K$  – коефіцієнт сушіння.

$$K = \frac{1}{h} \frac{1}{(1/\alpha_{mw}) + (4h/\pi^2 a_m)}, \quad (3.5)$$

де  $\alpha_{mw}$  – коефіцієнт вологообміну, віднесений до різниці вологовмісту поверхні тіла й рівноважного вологовмісту;

$W_k$  – критичний вологовміст початку другого періоду сушіння.

Першою найбільш серйозною роботою, присвяченою емпіричному методу опису кінетики сушіння, варто вважати книгу Г.К. Філоненка «Кінетика сушильного процесу». Учений експериментально відкрив важливу кінетичну закономірність – швидкість сушіння в другому періоді однозначно пов'язана з постійною швидкістю сушіння в першому періоді:



$$\psi_w = -\frac{1}{N} \cdot \frac{dW}{d\tau}, \quad (3.6)$$

де  $\psi_w$  – приведена швидкість сушіння.

Узагальнивши велику кількість експериментальних даних, одержав таку кореляцію для наведеної швидкості сушіння:

$$\psi_w = \frac{(W - W_\infty)^m}{A_1 + A_2(W - W_\infty)^m}, \quad (3.7)$$

де  $W$  і  $W_\infty$  – рівноважний вологовміст у певний момент часу;

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $m$  – безрозмірні емпіричні коефіцієнти, які визначаються безпосередньо в процесі експерименту та не залежать від вологовмісту матеріалу.

Із рівнянь (3.6), (3.7) одержують кінетичну криву сушіння в другому періоді:

$$\tau_2 = \frac{1}{N} \int_{W_k}^W \left[ \frac{A_1}{(W - W_\infty)^m} + A_2 \right] dW. \quad (3.8)$$

Загальне рівняння тривалості сушіння:  $\tau = \tau_1 + \tau_2$ , або

$$\tau = \frac{1}{N} \left[ (W_1 - W_k) + A_1 \int_{W_k}^W \frac{dW}{(W - W_\infty)^m} + A_2(W_k - W_2) \right]. \quad (3.9)$$

Показник ступеня  $m$  для певного матеріалу – постійна величина, що не залежить від форми й розміру частинок, способу й параметрів процесу сушіння. Він характеризує енергію зв'язку вологи з матеріалом. Під час випаровування вільної води в період постійної швидкості сушіння  $m=0$ . Численними дослідженнями сушіння різноманітних матеріалів встановлено три значення показника ступеня  $m$ , рівні 0,5; 1,0; 2,0. Зокрема встановлено, що для казеїну  $m=1$ . За відомого значення  $m$  рівняння тривалості сушіння (3.9) набувають вигляд:

$$m=0,5; \tau = \frac{1}{N} \left[ (W_1 - W_k) + 2A_1(\sqrt{W_k - W_\infty} - \sqrt{W_2 - W_\infty}) + A_2(W_k - W_2) \right]; \quad (3.10)$$

$$m=1; \tau = \frac{1}{N} \left[ (W_1 - W_k) + 2A_1 \ln \left( \frac{W_k - W_\infty}{W_2 - W_\infty} \right) + A_2(W_k - W_2) \right]; \quad (3.11)$$

$$m=2; \tau = \frac{1}{N} \left[ (W_1 - W_k) + 2A_1 \frac{(W_k - W_2)}{(W_k - W_\infty)(W_2 - W_\infty)} + A_2(W_k - W_2) \right]. \quad (3.12)$$

Тут  $W_1$ ,  $W_k$ ,  $W_2$ ,  $W_\infty$  – вологовміст матеріалу відповідно початкової, критичної, кінцевої та рівноважної сушеної маси.

Швидкість сушіння в перший період (до критичного вологовмісту) визначається параметрами сушильного агента, питомим навантаженням матеріалу, видом матеріалу, формою та розміром частинок.

$$N = a + bEv\rho \frac{F}{M_c}, \quad (3.13)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, що залежать від виду матеріалу, форми й розміру частинок;

$F$  – площа поверхні матеріалу;

$v$  – швидкість повітря;

$\rho$  – густина повітря;

$M_c$  – маса сухих речовин.

Зокрема залежність швидкості постійного періоду сушіння казеїну від комплексу величин (3.13) апроксимується рівнянням:

$$N = Ev\rho \frac{F}{M_c}. \quad (3.14)$$

Під час сушіння в нерухомому шарі швидкість постійного періоду прямо пропорційна кореню квадратному з масової швидкості повітря, під час сушіння в рухомому шарі – прямо пропорційна масовій швидкості повітря.

Рівноважний вологовміст основних сушених молочних продуктів можна визначити за такими формулами:

$$\text{казеїн} - W_\infty = 17 \sqrt{\frac{\varphi}{155 - \varphi}}, \quad (3.15)$$

$$\text{сухе знежирене молоко} - \text{за } 0,05 < \varphi < 0,1, \varphi = \exp\left(0,46 \frac{W_\infty}{100} - 3,953\right); \quad (3.16)$$

$$\text{за } 0,1 < \varphi < 0,55, \varphi = \exp\left(0,49 \frac{W_\infty}{100} - 3,915\right); \quad (3.17)$$

$$\text{за } 0,55 < \varphi < 0,9, \varphi = \exp\left(0,41 \frac{W_\infty}{100} - 0,89\right). \quad (3.18)$$

Коефіцієнти  $A_1$   $A_2$  являють собою масообмінні характеристики, що визначають переміщення вологи всередині матеріалу в процесі сушіння. Вони залежать як від довжини шляху переміщення вологи (форми й розміру частинок), так і від фазового стану вологи, тобто від температури та потенціалу сушіння повітря:

$$A_1 = c - d \cdot E; \quad A_2 = e \cdot E - f, \quad (3.19)$$

де  $c, d, e, f$  – коефіцієнти, зумовлені видом матеріалу, формою та розміром частинок;

$E$  – середнє значення потенціалу сушіння.

Установлено, що критичний вологовміст із підвищенням температури та потенціалу сушіння зменшується, тобто в період підвищеної швидкості сушіння збільшуються межі вологовмісту матеріалу.

$$W_k = k - l \cdot E. \quad (3.20)$$

Тут  $k$  і  $l$  – коефіцієнти, що залежать від виду матеріалу та розміру частинок, причому значення коефіцієнта  $k$  близькі до початкового вологовмісту матеріалу або рівні йому. Наприклад, для казеїну:

$$W_k = 120 - 1,2E.$$

Для опису швидкості сушіння в другому періоді використовуються різні емпіричні функції. При цьому, у міру зростання числа емпіричних коефіцієнтів зменшується похибка апроксимації, що в середньому становить 10–15%.

Найбільшим недоліком цих рівнянь є необхідність визначення критичного вологовмісту, що фактично є незалежним емпіричним коефіцієнтом. Тому становлять інтерес кінетичні рівняння, що описують весь процес сушіння без поділу на періоди. У табл. 3.1 наведено зведені дані про середню похибку апроксимації такими кінетичними рівняннями.

**Таблиця 3.1 – Відносна похибка основних кінетичних рівнянь для повного кривого сушіння**

№ з/п	Автор	Рівняння	Відносна похибка, %
1	Б.С. Сажин	$\tau(w) = \frac{1}{K(w_0 - w_\infty)} \ln \left[ \frac{(w_0 - w)(w_1 - w_\infty)}{(w_0 - w_1)(w - w_\infty)} \right]$	30
2	М.С. Смирнов, В.І. Лисенко	$w^*(\tau) = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf}(K(\tau - \tau_0))]$	30
3	Н.Т. Кретов, Н.Г. Фомін, А.А. Шевцов	$w^*(\tau) = A_1 \cdot \exp(-K_1\tau) + A_2 \cdot \tau^m \cdot \exp(-K_2\tau^n)$	10
4	Г.І. Єфремов	$w^*(\tau) = \left[ 1 + \left( \frac{\tau}{\tau_0} \right)^n \right]^{-1}$	20
5	М.О. Гришин, М.І. Погожих, В.О. Потапов	$w^*(\tau) = \exp(-K\tau)^n$	15

Для ЗТП-сушіння М.І. Погожих і В.О. Потапов запропонували таке кінетичне рівняння:

$$W(\tau) = W_0 \cdot \exp[-(k\tau)^n]. \quad (3.21)$$

Це рівняння не містить урахування періоду сталої швидкості сушіння, що є характерною рисою ЗТП-сушіння. Його можна використовувати й для інших способів сушіння, якщо об'єкт сушіння не має періоду сталої швидкості сушіння.

За наявності сучасної комп'ютерної техніки багато авторів пропонують свої математичні моделі, які, на їх думку, більш повно відбивають фізичний сенс процесу та природу сировини. У будь-якому разі ці моделі потребують проведення чисельних експериментів та їх узагальнення. Тому, якщо йдеться про технічне використання розрахунків, можна обирати найпростішу модель і проводити розрахунки вологовмісту або тривалості сушіння за цією моделлю. Майже всі вони не перевищують похибки у 20–30%, що дає можливість у першому наближенні конструювати сушарки та складати технологічні карти сушіння обраної сировини.

### **3.4. Способи визначення кінетики температури сировини**

За своєю фізичною природою сушіння являє собою нестационарний процес теплообміну, на який витрачається велика кількість теплоти. Разом із тим він є технологічним процесом, що визначає якість готового продукту. Оптимальний режим сушіння повинний забезпечувати мінімальні витрати теплоти, енергії, а також максимальне збереження хіміко-технологічних властивостей матеріалу та визначається температурою, максимально допустимою для певного матеріалу. Тому під час сушіння потрібні суворий контроль і регулювання температури.

Температура матеріалу в процесі сушіння залежить від параметрів нагрітого повітря, способу сушіння та теплофізичних властивостей самого матеріалу. Наприклад, експериментально визначити температуру частинок, що знаходяться в безперервному русі, важко. Для дуже дрібних (пилоподібних) частинок за температуру матеріалу приймають температуру поверхні частинок, що вимірюється відкритими незахищеними спаями термопар у момент раптового припинення руху частинок, або температуру повітря, що відходить (за сухим термометром). Так, за температуру сухого молока під час розпилювального сушіння приймають 70...75° С – температуру повітря на виході із сушильної камери. Під час сушіння великих частинок казеїну в киплячому шарі за середнеоб'ємну температуру приймають середнє значення між температурою на поверхні й у центрі частинок.

Дослідження температурних полів показало, що застосування більш високих температур нагрітого повітря (100...120° С) порівняно з помірними

(50...90° С) зменшує сумарний температурний вплив на продукт. Центральні шари частинок прогриваються повільніше під час сушіння повітрям, нагрітим до високих температур. Це зумовлено високою інтенсивністю випаровування в усьому об'ємі частинок, на що витрачається більша кількість теплоти. У момент інтенсивного випаровування в центрі частинок спостерігається період постійної температури. Під час сушіння помірно нагрітим повітрям випаровування відбувається тільки в поверхневих шарах частинок і витрати теплоти на нього значно менші, ніж під час високотемпературного сушіння. Температура всередині частинок при цьому швидко підвищується, наближаючись до температури на поверхні частинок і температури сушильного агента.

### 3.5. Характер кінетики температури сировини під час сушіння

На рис. 3.2 схематично зображено типові кінетичні криві для вологовмісту та температури. Середні вологовміст і температура тіла еволюціонують у часі, наближаючись до своїх рівноважних значень. При цьому виділяють зазвичай три періоди сушіння: період прогріву ( $\tau=0-1$ ), період постійної швидкості сушіння ( $\tau=1-2$ ) і період падаючої швидкості сушіння ( $\tau=2-\infty$ ). Найчастіше період прогріву слабо виражений і його поєднують із періодом постійної швидкості сушіння. Межею між періодом постійної та падаючої швидкості сушіння є критичний вологовміст  $W_k$ , що залежить від матеріалу й режиму сушіння.

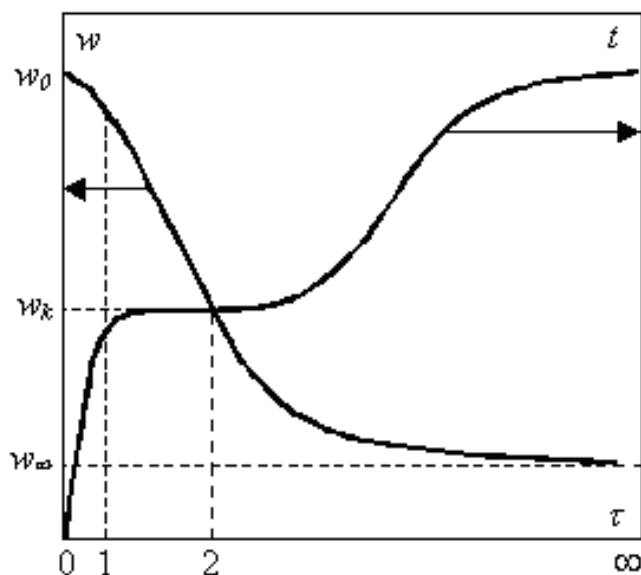


Рисунок 3.2 – Типові криві кінетики сушіння та нагріву вологого тіла

У разі великого температурного перепаду в матеріалі середня температура матеріалу плавно переходить точку критичного вологовмісту, поступово збільшуючись. За незначних температурних перепадів у матеріалі середня температура матеріалу різко зростає після досягнення точки

критичного вологовмісту й у міру зменшення вологості матеріалу зростання температури матеріалу сповільнюється.

Допустимі температури матеріалу залежать і від способу сушіння. Так під час сушіння матеріалів у нерухомому шарі на стрічкових конвеєрних сушарках нижній шар матеріалу стикається із сушильним агентом, нагрітим до максимальної температури, а також із нагрітою металевою сіткою, що призводить до місцевих перегрівів матеріалу. Під час сушіння в киплячому шарі в результаті безперервного руху й перемішування матеріалу не відбувається місцевих перегрівів, і максимально допустимі температури сушильного агента та матеріалу можуть бути підвищені.

### 3.6. Рівняння для кінетики температури. Критерії Ребіндера, Косовича та їх фізичний сенс

Рівняння для визначення кінетики температури матеріалу отримується на підставі рівняння теплового балансу

$$(c_W m_W + c_c m_c) \frac{dT}{d\tau} + r \frac{dm_W}{d\tau} = KF(T^c - T), \quad (3.22)$$

$$c \frac{dT}{d\tau} + r \frac{dW}{d\tau} = \frac{KF}{m_c} (T^c - T), \quad (3.23)$$

де  $K$  – середній коефіцієнт теплопередачі від повітря до матеріалу;

$F$  – площа поверхні матеріалу;

$T$  – середня температура матеріалу;

$m_c$  – маса сухих речовин;

$m$  – маса води;

$c = c_W + c_c W$  – наведена теплоємність матеріалу.

Останнє рівняння можна проінтегрувати відносно температури, визначивши її кінетику. Аналітичний вираз при цьому можна одержати, якщо вважати приведену теплоємність тіла постійною та задавати в явному виді рівняння для швидкості сушіння. Проте найчастіше рівняння теплового балансу вирішується чисельно, оскільки тільки в цьому разі виходить задовільне узгодження з експериментальними даними.

За конвективного сушіння, коли немає додаткового джерела тепла, температура на поверхні матеріалу в періоді постійної швидкості сушіння дорівнює температурі «мокрого» термометра. Період постійної швидкості сушіння характеризується сталістю температури на поверхні матеріалу. Тому в періоді постійної швидкості сушіння за  $dT/d\tau=0$ ;  $T=T^M$ ;  $dW/d\tau=N$  з (3.23) одержуємо точне рішення:

$$T = T^c - \frac{rNm_c}{KF}. \quad (3.24)$$

Звідси випливає, що температура матеріалу буде тим менша, чим більша швидкість постійного періоду сушіння й більше питома навантаження сушарки  $m_c/F$ .

Для опису кінетики середньої температури матеріалу в процесі сушіння О.В. Ликов запропонував використовувати емпіричне рівняння:

$$\frac{dt}{dW} = -B \frac{t_\infty}{W_0}, \quad (3.25)$$

де  $B$  – коефіцієнт сушіння, що змінюється за одним із законів:

$$B = A_1 \exp[-A_2(W - W_\infty)], \quad (3.26)$$

$$B = A_3(W - W_\infty)^n. \quad (3.27)$$

де  $A_1, A_2, A_3, n$  – емпіричні коефіцієнти.

Інтегруючи рівняння (3.25), з урахуванням (3.26), (3.27) одержуємо такі вирази для кінетики середньої температури:

$$\frac{t_\infty - t}{t_\infty} = A_3 \frac{(W - W_\infty)^{n+1}}{(n+1)W_0}, \quad (3.28)$$

$$t = t_\infty - \frac{A_1}{A_2} \frac{t_\infty}{W_0} \left[ 1 - e^{-A_2(W - W_\infty)} \right]. \quad (3.29)$$

Середньооб'ємну температуру в будь-який момент сушіння розраховують також за залежністю критерію Ребіндера від кількості вологи, що видаляється. Критерій Ребіндера – один з основних критеріїв кінетики процесу сушіння, він установлює зв'язок між інтенсивністю теплообміну та масообміну:

$$\text{Rb} = \frac{c}{r} \frac{dT}{dW} = \frac{c}{r} b, \quad (3.30)$$

де  $c$  – приведена питома теплоємність вологого матеріалу;

$r$  – прихована питома теплота пароутворення;

$T$  – середньооб'ємна температура матеріалу;

$W$  – середньооб'ємний вологовміст;

$b$  – температурний коефіцієнт сушіння.

Температурний коефіцієнт сушіння  $b$  визначає збільшення середньооб'ємної температури матеріалу за зменшення в процесі сушіння вологовмісту матеріалу на одиницю. Критерій Ребіндера дорівнює відношенню кількості теплоти, витраченої на нагрівання матеріалу, до кількості теплоти, витраченої на випаровування вологи за нескінченно малий проміжок часу.

Залежність критерію Ребіндера від кількості вологи, що видаляється, виражається таким рівнянням:

$$Rb = a \exp[b(W - W_\infty)], \quad (3.30)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, зумовлені видом матеріалу.

Зв'язок між тепло- і вологообміном у процесі сушіння виражається рівнянням:

$$q_n = \frac{m_c r}{F} \frac{dW}{d\tau} (1 + Rb), \quad (3.31)$$

де  $q_n$  – потік теплоти, що підводиться до матеріалу.

Це рівняння справедливе для будь-якого тіла й за будь-якого способу сушіння.

У критеріальній формі рівняння (3.31) записується таким чином:

$$Ki_q = Ki_m Lu Ko(1 + Rb), \quad (3.32)$$

де  $Ki_q$  – критерій Кірпічева теплообмінний:

$$Ki_q = \frac{qR_V}{\lambda\Delta T}, \quad (3.33)$$

$Ki_m$  – критерій Кірпічева масообмінний:

$$Ki_m = \frac{jR_V}{a_m \rho_0 W_0}, \quad (3.34)$$

де  $q$  і  $j$  – потоки тепла та маси відповідно.

Критерії Кірпічева для більшості матеріалів змінюються від 0 до 2 і характеризують відношення між інтенсивністю зовнішнього та внутрішнього перенесення тепла або вологи.

$Lu = a_m/a$  – критерій Ликова – характеризує відношення дифузії вологи до дифузії тепла, тобто інерцію розвитку полів температур відносно полів вологовмісту. Критерій  $Lu$  для більшості харчових матеріалів значно менше одиниці, що означає, що поле температур розвивається швидше, ніж поле вологовмісту. Здебільшого значення критерію  $Lu$  збільшується з підвищенням вологовмісту за лінійним законом.



Ко – критерій Косовича – характеризує залежність між теплом, витраченим на випаровування вологи, і теплом, витраченим на нагрівання вологого матеріалу.

$$K_o = \frac{r\Delta W}{c\Delta T}. \quad (3.35)$$

### Контрольні запитання

1. Розкрийте поняття «кінетика сушіння» та «середній вологовміст».
2. Які способи визначення кінетики сушіння Ви знаєте?
3. Як будується крива сушіння? Наведіть приклади.
4. Як визначаються періоди процесу сушіння за кривою сушіння?
5. Які Ви знаєте математичні та емпіричні моделі кінетики вологовмісту?
6. Запишіть рівняння для визначення тривалості сушіння.
7. Наведіть відомі Вам способи визначення кінетики температури.
8. Поясніть фізичний сенс критеріїв подібності Ребіндера та Косовича.
9. Запишіть рівняння для кінетики температури.

## РОЗДІЛ 4

### ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СУШАРОК І ЇХ ОСНОВНІ СХЕМИ

#### 4.1. Загальна функціональна схема сушарок

Технологу необхідно знати: ефективність проведення зневоднення харчової сировини залежить від правильного вибору способу сушіння, раціональної конструкції апарата для сушіння, яку треба вибирати, ураховуючи конкретний вид сировини, її тепломасообмінні властивості та вимоги до кінцевого (сушеного) продукту. При цьому необхідно користуватися такими вимогами:

- забезпечення високих показників якості сушеної продукції (набрякання, відновлення, збереження вихідних органолептичних властивостей, максимальне збереження нутрієнтів);

- мінімальні питомі енергетичні витрати на 1 кг випареної вологи або на 1 кг готової продукції;

- мінімальні витрати теплоносія;

- мінімальні енергетичні й матеріальні витрати на операції попередньої підготовки сировини до сушіння;

- максимальна інтенсивність процесу, яка дає змогу забезпечити мінімальні габаритні розміри сушарки й мінімальну металомісткість, тобто за оцінкою питомого навантаження за випареною вологою з 1 м<sup>2</sup> або 1 м<sup>3</sup> робочої частини сушарки;

- можливість механізації та автоматизації технологічного процесу й обладнання.

Крім того, необхідно пам'ятати, що на вибір способу сушіння та конструкції сушарки впливають вихідні структурно-механічні властивості сировини, її схильність до адгезії й когезії, крихкість, початковий вологовміст, консистенція, геометричні розміри та форма тощо.

Будь-яка сушарка тим чи іншим чином повинна виконувати такі функції: мати систему енергопідведення; систему завантаження, руху (розміщення) сировини та вивантаження готової продукції; систему виведення пари з робочого об'єму сушарки; систему контролю та управління режимом у сушарці; систему контролю за станом (рухом) сировини в об'ємі сушарки. Тобто схематично функціональну схему сушарки можна подати, як на рис. 4.1.

Питання щодо класифікації сушарок досить складне й багато авторів наводять різноманітну класифікацію. Найбільш поширені з них розроблені М.О. Гришиним та А.С. Гінзбургом. Тут ідеться про класифікацію сушарок за такими ознаками:

- за режимом роботи – безперервні, періодичні, циклічні;

- за тиском у робочому об'ємі – атмосферні, вакуумні;

- за видом сушильного агента – повітря природне, штучно підготовлене;

- за схемою руху сушильного агента – природна або вимушена;

- за напрямками відносного руху сушильного агента та сировини – прямотечійні, протитечійні;

- за конструкцією сушильної камери – шафні, камерні, барабанні, стрічкові, сублимаційні тощо;
- за способом підведення теплоти – конвекційні, кондуктивні, радіаційні, комбіновані, змішані;
- за способом руху сировини – природний, вимушений.



Рисунок 4.1 – Універсальна функціональна схема сушильних апаратів

Необхідно зауважити, що класифікація має досить відносний характер, оскільки існує велика кількість різноманітних конструкційних рішень сушарок. Але за класифікацією можна вибрати той тип сушарки, який найбільше підходить для сушіння вибраної сировини.

#### 4.2. Класифікація сушарок за способом підведення теплоти

*Конвективні сушарки.* Цей тип сушарок найпоширеніший. Такі сушарки мають різноманітну конструкцію, але їх об'єднує те, що теплота на нагрівання сировини та випаровування вологи надходить від молярних (конвекційних) потоків теплоносія, яким є газова суміш (здебільшого повітря). Використовують як природну, так і штучну (вимушену) конвекцію, в останньому випадку встановлюються пристрої, що утворюють різницю тиску між входом і виходом теплоносія в камері сушіння. За звичайних умов використовують вентилятори низького, середнього та високого тиску різної продуктивності. Робочий тиск і продуктивність вентилятора залежать від його конструкції (осьові, відцентрові), частоти обертання та діаметра робочого колеса вентилятора. У деяких випадках використовують компресори, які характеризуються утворенням високого тиску, але мають низький показник за

витратою теплоносія. Теплоносій у цьому разі є й поглиначем випареної вологи, тобто виконує одночасно дві функції.

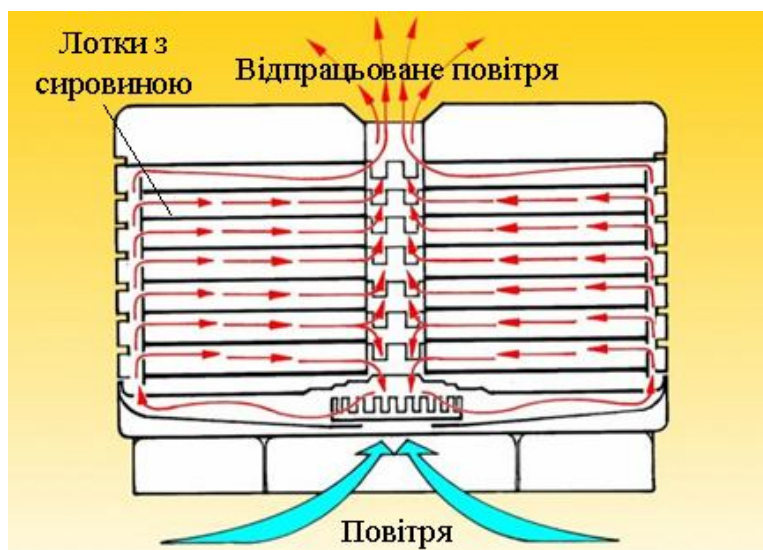


Рисунок 4.2 – Принцип роботи конвективної сушарки

Коефіцієнт тепловіддачі від газової суміші (повітря) до сировини, що зневоднюється, не дуже великий, і за звичайних умов (швидкість до 10 м/с і розміри сировини  $10^{-2}$  м) цей коефіцієнт не перевищує 20...30 Вт/(м<sup>2</sup>·К), а для перегрітої пари цей показник дещо більший.

Як агент сушіння використовують: нагріте повітря; суміш топкових газів і повітря в різних пропорціях; перегріту пару. Найбільш поширені конвективні сушарки, які використовують нагріте повітря. Вони мають певну перевагу в простоті їх виконання, експлуатації та регулювання режимів. Недоліком є те, що кисень, який міститься в повітрі, сприяє окисненню деяких поживних речовин і вітамінів сировини. Цей недолік усувається, якщо використовувати суміш топкових газів, але при цьому можливе забруднення сировини речовинами неповного згорання палива. Найбільш сприятливим із цього погляду є перегріта пара, але обладнання дуже складне, необхідні системи герметизації камери сушіння, різноманітні шлюзові пристрої для завантаження-вивантаження сировини тощо.

Щоб інтенсифікувати процеси тепло масообміну в конвективних сушарках підвищують швидкість руху сушильного агента, його температуру, утворюють вихрові потоки, зменшують розміри подрібнення вихідної сировини. Але слід пам'ятати, що ці засоби призведуть до прискорення сушіння в основному першого періоду сушіння, бо в періоді падаючої швидкості сушіння інтенсивність видалення вологи залежить від температури та різниці парціальних тисків пари над сировиною та агента сушіння.

До сушарок, що забезпечують інтенсивне видалення вологи, належать: *розпилювальні сушарки; сушарки киплячого шару та їх різновиди: псевдорозрідженого шару, віброкиплячого шару, фонтануючого шару.*

Розпилювальні сушарки використовуються для зневоднення рідкої або пастоподібної харчової сировини. Цю консистенцію сировини отримують

упарюванням або тонкодисперсним подрібненням. На цих сушарках зневоднюють молоко та молочні продукти, каву, овочеві та плодоовочеві пасти, кров тощо.

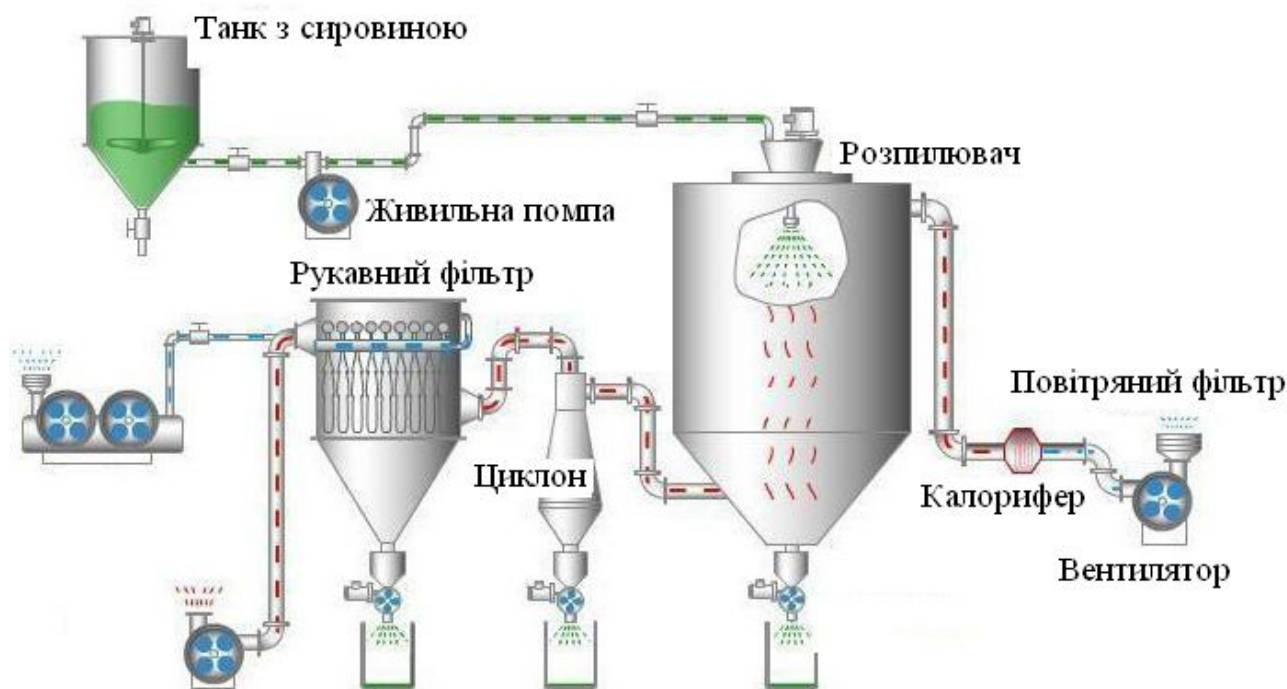


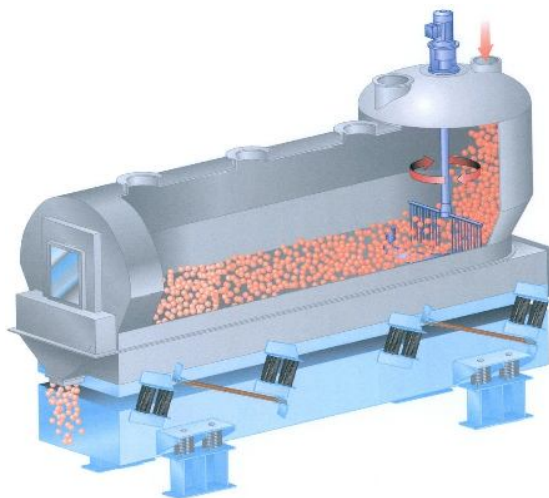
Рисунок 4.3 – Розпилювальна сушарка

Основним вузлом сушарки є розпилювач. Існують різноманітні розпилювачі: форсунки, відцентрові турбінки, ультразвукові та інші. Основна їх функція – утворення дрібних крапель рідини. При цьому їх питома поверхня або дисперсність (відношення площі поверхні до об'єму) має велике значення. Так поверхня еквівалентна 1 л рідини складає декілька сотень квадратних метрів. Висока питома поверхня приводить до високої швидкості сушіння: краплина висихає за одиниці секунд. Інтенсивне випаровування дозволяє використовувати високі температури сушильного агента до  $160...180^{\circ}\text{C}$ . За гранично допустиму температуру сировини вибирають температуру сушильного агента на виході з камери сушіння (до  $80^{\circ}\text{C}$ ).

До недоліків цих сушарок належать їхні великі габаритні розміри та високі витрати енергії на випаровування – до 4 кг пари на 1 кг випареної вологи.

Сушарки киплячого шару та їх різновиди виконані таким чином, що шар сировини під дією потоку агента сушіння й допоміжних пристроїв знаходиться в «киплячому шарі», тобто кожна частинка сировини рухається за хаотичними траєкторіями в певному об'ємі камери сушіння. Перевагами цього типу сушарок є те, що сировина весь час активно рухається, утворює низький опір потоку агента сушіння, досить інтенсивно зневоднюється та рівномірно нагрівається. Такі сушарки мають високе питоме навантаження на одиницю поверхні сушильної камери – до  $150\text{ кг/м}^2$ , що більше ніж у 10 разів за аналогічного показника для стрічкових сушарок. Тривалість сушіння залежить від температури й розмірів сировини та коливається в межах від 3 годин до

30 хвилин. Ці сушарки можна використовувати для сушіння багатьох овочів та корінців, а також бобових та зернових культур, горіхів.



**Рисунок 4.4 – Сушарка киплячого шару**

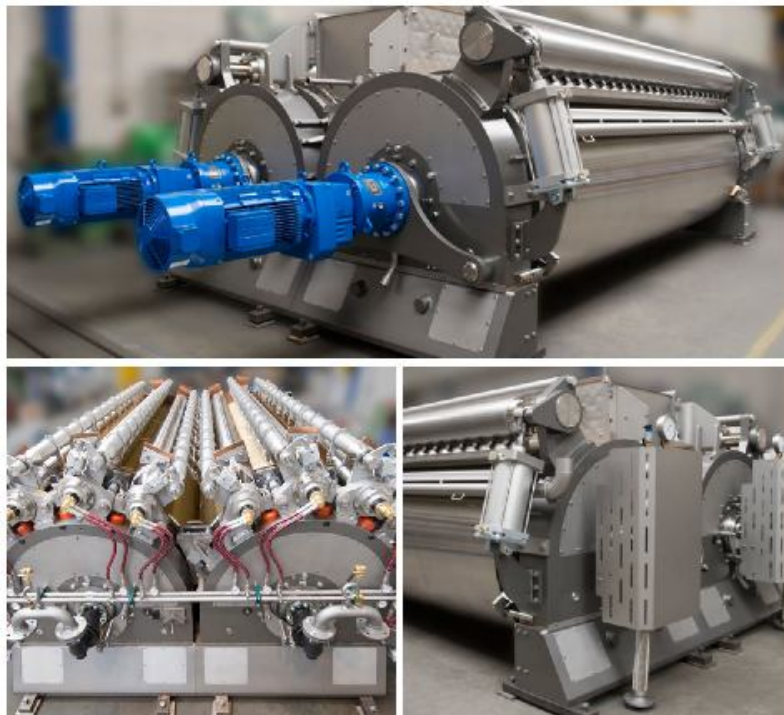
До недоліків цих типів сушарок необхідно віднести обмеженість асортименту сировини, що можна сушити (лише сипкі або нарізані шматочками, що зберігають свою форму, матеріали), а також досить високі витрати агента сушіння та енергії. Також під час використання високих температур сушіння необхідним є чітке контролювання поточного вологовмісту та температури сировини через можливості її термічного травмування.

*Кондуктивні (контактні) сушарки.* У цих сушарках теплота до сировини, що зневоднюється, передається через контакт сировини з гарячою твердою поверхнею. Утворюють цю поверхню шляхом нагрівання твердого матеріалу теплоносієм (парою, електричними калориферами, топковими газами тощо). Сировина у вигляді пюре або пасти намащується тонким шаром на нагрівальну поверхню або притискається зовнішньою силою. Коефіцієнт тепловіддачі в цьому разі значно більший за конвективний теплообмін і становить  $10^2$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). На величину тепловіддачі суттєво впливає щільність контакту сировини з нагрівальною поверхнею. Тривалість сушіння становить від декількох секунд до декількох хвилин.

Яскравим представником таких сушарок є валкові сушарки, у яких на нагріту поверхню валків намащується тонкий шар сировини. Розрізняють одновалкові, двовалкові та багатовалкові сушарки. В останніх сировина переходить з одного валка на інший до повного зневоднення. Тонкий (до 0,1 мм) шар сушеного продукту з валків знімається за допомогою спеціальних ножів.

Недоліком таких сушарок є великі габарити валків, складність конструкції, обмеженість у використанні щодо асортименту сировини. Як і для розпилювальних сушарок, сушена продукція характеризується швидким або миттєвим відновленням, але через велику питому поверхню взаємодії сировини із сушильним агентом продукція значно втрачає вітаміни, аромат. Під час

подальшого зберігання перебігають реакції окиснення речовин, що псує готову продукцію, тому використовують вакуумне пакування в інертній атмосфері.



**Рисунок 4.5 – Вальцова сушарка**

*Радіаційні сушарки (інфрачервоні (ІЧ) та надвисокої частоти (НВЧ)) використовуються для інтенсифікації процесу сушіння, який відбувається за рахунок поглинання повітрям випареної вологи, а теплота підводиться за рахунок перетворення енергії електромагнітних хвиль у теплоту.*



**ІЧ-сушарка**

**НВЧ-сушарка**

**Рисунок 4.6 – Радіаційні сушарки**

Для ІЧ-сушарок використовують довжини хвилі в межах 1,1...2,2 мкм, які отримують випромінюванням із поверхні нагрітих твердих матеріалів (металів) до температури, яку визначають за допомогою закону зміщення Віна для абсолютно чорних тіл. Густина теплового потоку на одиницю поверхні може становити  $10^4$  Вт/м<sup>2</sup>, що приводить до значної інтенсифікації процесу сушіння. Крім того, ІЧ-випромінювання заглиблюється всередину сировини до 10...20 мм, що також сприяє інтенсифікації процесу. Суттєвим недоліком ІЧ-сушарок є нерівномірність теплового потоку через направленість випромінювання та залежність потужності від квадрата відстані від генератора до поверхні сировини. Усе це призводить до необхідності ускладнення обладнання, а високі температури генераторів – до ймовірності термічного травмування сировини. У цьому разі прискорення сушіння відносно конвективного може становити до двох разів.

Для НВЧ-сушарок використовують електромагнітні хвилі метрового діапазону (частоти 2...3 ГГц). Уперше НВЧ(ТВЧ)-сушарки використано в 1932 р. М.С. Селюгіним для сушіння деревини. У наш час такі сушарки використовують і в харчовій промисловості, але їх розповсюдження обмежене. Причиною цього є досить висока складність пристроїв сушарки, невисокий коефіцієнт корисної дії магнетронів, складність в обслуговуванні та ремонті, вимоги певної кваліфікації до робочого персоналу. Переваги цих сушарок яскраво виявляються під час сушіння такої сировини, де неможливо створити високі питомі навантаження сировини або необхідна максимальна продуктивність за обмеженості площі виробничих приміщень. Це досягається тим, що тривалість сушіння, наприклад, пряно-ароматичної сировини в сушарках цього типу скорочується майже у 20 разів. А з огляду на обмеженість тривалості зберігання (до 12 годин) цієї сировини можна забезпечити достатню продуктивність сушарок, особливо для малих переробних підприємств.

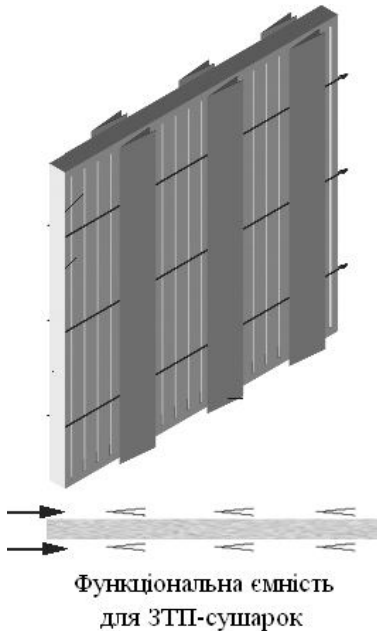
*Комбіновані сушарки.* У цих сушарках використовують одночасно декілька принципів попередніх сушарок. У першу чергу це стосується способів підведення теплоти – конвективно-кондуктивний, конвективно-радіаційний, кондуктивно-радіаційний. З огляду на природу сировини та кінетику її сушіння такі сушарки дозволяють використовувати переваги певного способу теплопідведення в певні періоди кінетики сушіння. Усе це приводить до інтенсифікації сушіння та покращення якості готової продукції відносно «прямих» способів.

*ЗТП-сушарки* – новий тип сушарок, розроблений у ХДУХТ. Ці сушарки можуть використовуватися для сушіння широкого асортименту харчової сировини рослинного походження. Основною їх відмінністю є використання спеціальних модулів для сировини – тепломасообмінних ємностей, функціональних ємностей. Реалізується зовсім інший принцип штучного сушіння, ніж в усіх відомих сушарках і способах: тут об'єктом сушіння є сама функціональна ємність, тепломасообмінні властивості якої залежать від сировини, яка в неї завантажена. Якщо асортимент сировини близький за



своїми теплофізичними характеристиками, то технологія сушіння, тривалість сушіння, режими сушіння не залежать від природи сировини.

Джерелом енергії, що можна використовувати для цих сушарок, є: конвекційний рух теплоносія (гарячі газы); радіаційне випромінювання; кондуктивне теплопідведення та їх комбінації.



ЗТП-сушарки

Рисунок 4.7 – ЗТП-сушарки

Ці сушарки перевищують за питомими показниками продуктивності сушарки киплячого шару, питомі витрати енергії найнижчі й наближаються до природних, а якість сушеної продукції не поступається сублімаційному сушінню.

### 4.3. Класифікація сушарок за схемами руху теплоносія

За схемою руху теплоносія розрізняють такі типи сушарок:

- *прямотечійні* – конвективні сушарки, у яких сушильний агент рухається вздовж руху сировини;
- *протитечійні* – рух сировини й сушильного агента протилежно спрямовані;
- *поперечні* – сировина й сушильний агент рухаються в перпендикулярних напрямках;
- *струменеві* – потік сушильного агента у вигляді струменів омиває сировину;
- *вихрові* – вихровий потік сушильного агента сприяє руху сировини по замкненій траєкторії;
- *пневматичні* – потік сушильного агента транспортує сировину в робочій камері (трубі) певної висоти, під час транспортування видаляється волога (зазвичай використовується для зернових культур).

Названі види сушарок відрізняються від перерахованих у п. 4.2 саме схемою руху сушильного агента й відповідними пристроями для її організації.

Крім того, є *рециркуляційні* сушарки, де використовуються частково замкнені шляхи руху сушильного агента. На шляхах руху агента сушіння встановлюються рекуперативні теплообмінники, у яких частина теплоти відводиться у відпрацьованого сушильного агента, частина вологи конденсується, і це повітря та теплота повторно використовуються для сушіння сировини.

Сюди ж належать і типи сушарок за тиском у камері. Це *вакуумні та сублімаційні*. Обидва типи сушарок характеризуються зниженням тиску або утворенням розрідження в сушильній камері.

Ці сушарки використовують для отримання продуктів із високим остаточним вмістом речовин, що властиві вихідній сировині: вітамінів, фенолів, ферментів тощо. За складністю конструкції, показниками тривалості сушіння та питомими енергетичними витратами вони значно поступаються названим вище сушаркам, але за якістю готової продукції – перевищують їх.

#### 4.4. Камерні та шафові сушарки: їх схеми та загальні характеристики

*Камерні сушарки* мають просту конструкцію, основним вузлом якої є прямокутна камера, усередині якої розміщують сировину, що зневоднюється. Для розміщення сировини використовують лотки, візки тощо. Ці сушарки періодичної дії. Можуть мати одну, дві чи більше камер. Вони прості в експлуатації. Такі сушарки використовують для сушіння цукру-рафінаду, сортового зерна, сухарів, фруктів тощо. У деяких випадках із камерних сушарок утворюють своєрідний коридор для здійснення безперервного циклу сушіння. Сюди ж належать камери коридорного типу. Для цих сушарок із декількох камер утворюють своєрідний коридор, кожний відсік якого і є камера, де розташовують сировину для сушіння.



Рисунок 4.8 – Камерна сушарка

Продуктивність такої сушарки пропорційна кількості камер. Використовують конвективне теплопідведення, для чого нагрівають повітря або суміш топкових газів із повітрям. Для нагрівання повітря використовують парові або електричні калорифери. Представниками цих сушарок є: КС-2М (двокамерна (для сухарів та іншого)); А1-УСК (однокамерна (для сушіння зерна тощо)); СКП-6 (коридорна (для качанів кукурудзи)). Продуктивність цих сушарок різноманітна й залежить від виду сировини. Вони характеризуються досить високими питомими витратами енергії – до 8 МДж на 1 кг випареної вологи. Варіантом камерних сушарок є *шафові*, які відрізняються тим, що мають три закриті стінки, а передня стінка утворює своєрідні дверцята, які забезпечують доступ до скеровуючих для лотоків або касет. Саме камерні та шафові сушарки широко використовують підприємства з малою та середньою продуктивністю. Асортимент продукції дуже широкий, у них можна зневоднювати будь-які плоди та овочі, але їх ефективність не дуже висока, тому вони не мають перспективи для промислового сушіння рослинної сировини.

#### 4.5. Сушарки з різними схемами руху сировини

*Тунельна (конвеєрна)* сушарка – це довга наскрізна камера, усередині якої сировина, що висушується, рухається на вагонетках або конвеєрах уздовж камери. Ці сушарки безперервної дії, тобто за час руху в камері сировина повинна зневоднюватись до заданого вологовмісту. Довжина цих сушарок може досягати 100 м, а ширина до 10 м. Відстань між вагонетками та стінками камери становить 70–80 мм. Сушильний агент тут рухається як за рахунок природної, так і вимушеної конвекції, для чого використовують відповідні вентилятори. У цих сушарках часто застосовують додатковий нагрів сушильного агента та рециркуляційні схеми руху. До таких сушарок належать: ЛС-2А (конвеєрна (для макаронних виробів), продуктивність 375 кг/год, витрати енергії – 5–6 МДж на 1 кг випареної вологи); сушарки фірми «Бассано» (конвеєрна (для попереднього сушіння макаронних виробів – сушарка «Транслакс», та кінцевого – сушарка «Ролінокс»), які відрізняються створенням різних режимів сушіння: у першій жорсткий режим (до 85° С), а у другій – м'який (до 55° С)).



Рисунок 4.9 – Тунельна сушарка

Варіантом тунельних сушарок є *стрічкові конвеєрні* сушарки – найбільш розповсюджені під час сушіння овочевої продукції, чаю, макаронних виробів тощо. Попередні відрізняються тим, що в тунелі рух сировини здійснюється на вагонетках або в пристроях (бункерах, сітках, підвісах), що рухаються на конвеєрі, а в останніх – це стрічковий конвеєр у вигляді нескінченної стрічки. Стрічки можуть утворювати 2–5 ярусів і більше, на які сировина по черзі потрапляє пересипаючись з однієї (верхньої) на іншу (нижню) стрічку. Ці сушарки характеризуються *площею* стрічки, кількістю ярусів, теплотворним пунктом (топка або парові калорифери). Тиск пари в калориферах становить до 0,6 МПа, площа стрічок 15, 30, 45, 90 м<sup>2</sup> (для сушарок типу СПК-4Г – (15, 30, 45, 90)), продуктивність за випареною вологою становить до 450 кг/год (для СПК-4Г-90), а питомі витрати теплоти до 5,5 МДж/кг, геометричні розміри (для СПК-4Г-90) – 11980x2800x4600 мм. До цього типу належать сушарки: Г4-КСК 90 (для картоплі та інших овочів, продуктивність до 670 кг/год за випареною вологою, площа стрічки – 90 м<sup>2</sup>, витрати пари – 2400 кг/год, розміри – 13700x3260x4900 мм); СКО-90 (для сушіння рослинної сировини, із вогневими калориферами на рідкому паливі, продуктивність – до 630 кг/год за випареною вологою, площа стрічки – 90 м<sup>2</sup>, витрати палива – 80 кг/год, розміри – 17320x9910x4095 мм).



**Рисунок 4.10 – Стрічкова конвеєрна сушарка**

*Барабанні* сушарки – досить ефективні пристрої для безперервного сушіння широкого асортименту сировини від хімічної (полімери, вугілля) до харчової промисловості (зерно, цукор тощо). Вони мають певні переваги за продуктивністю, простотою конструкції, ефективністю теплопідведення (конвективно-кондуктивний), витратами енергії (від 5 до 12,5 МДж/кг випареної води). Характеризуються вологонапруженістю об'єму, тобто кількістю випареної води з 1 м<sup>3</sup> барабана. Основний принцип – це обертання барабана, що має певний нахил, та рух сировини за спіралеподібною траєкторією. Для забезпечення впорядкованого руху всередині барабана можуть встановлюватися спеціальні лопатки, що захоплюють сировину, піднімають на певну висоту, із якої вона під дією сили тяжіння падає. Це забезпечує перемішування сировини, її рівномірний прогрів. На жаль, плоди та овочі в таких пристроях не сушать, оскільки тривалість знаходження сировини в барабані становить 20–30 хв, а інтенсивне перемішування може псувати

форму сировини. Такі сушарки використовують для цукру, горіхів, насіння, зерна.

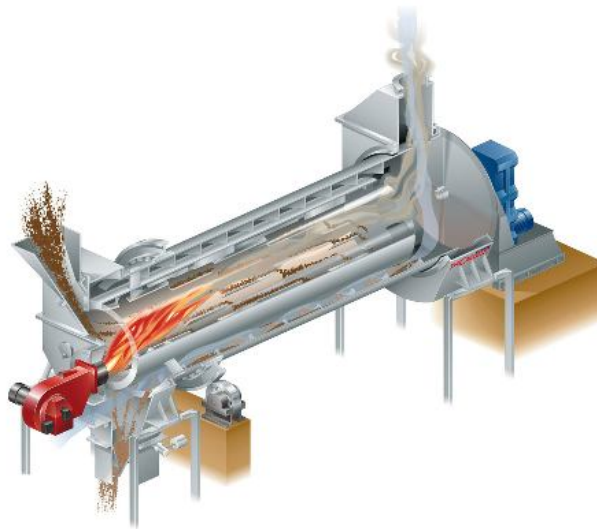


Рисунок 4.11 – Барабанна сушарка

Варіантом цих сушарок є *шнекові*, де в нерухомому барабані обертається шнек, який і переміщує сировину.

*Шахтні* сушарки мають вигляд досить високої шахти, через верхній бункер якої подається сировина. Сировина рухається в коробах, із зовнішньої сторони яких рухається теплоносії: топкові гази або їх повітряна суміш. Швидкість руху сировини визначається швидкістю видалення готової продукції в нижній розвантажувальній частині шахти, де обертається шнек.

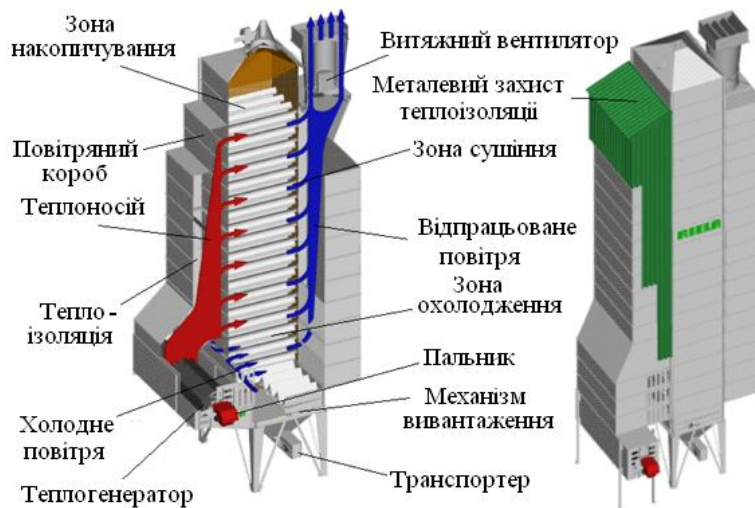


Рисунок 4.12 – Шахтна сушарка

Ці сушарки мають високу продуктивність за готовою продукцією (тони на годину), є самостійними конструкціями. У них зневоднюють зерно, насіння, солод та іншу сипку сировину. Найбільш розповсюджені – це сушарки М-819 (зерно, насіння), ЛСХА-10, ЛСХА-20 (солод для пивоварних заводів).

#### 4.6. Сушарки з активною взаємодією сировини із сушильним агентом

Сушарки *віброкиплячого та киплячого шару* використовуються для сушіння дрібнодисперсної харчової сировини в технологіях гранулювання. Сушарки типу А1-КВР-12 – для сушіння круп; А1-ОГК – казеїну; А1-ФМУ – меланжу. Витрати енергії в них становить до 8 МДж/кг випареної вологи. Продуктивність за випареною вологою – до 300 кг/год (для А1-ОГК, розміри якої 8260x2470x3980 мм).

*Розпилювальні сушарки* А1-ОРЧ (для кави, молока, меланжу), RS-1000 (для молока) мають продуктивність від 500 до 1000 кг/год за випареною вологою, характеризуються великими розмірами (висота до 12 м) та витратами енергії – 2,5...3,0 кг пари з тиском 1,0 МПа (10 атм) на 1 кг випареної вологи.

*ЗТП-сушарки* на цей час виконані лише у вигляді камерних, але характеризуються активною взаємодією функціональних місткостей з агентом сушіння. Їх конструкції можуть бути різноманітними, тому що вони вміщують переваги камерних щодо простоти конструкції, барабанних і віброкиплячого шару щодо навантаження на об'єм сушильної камери (теоретично до 500 кг сировини в 1 м<sup>3</sup>) та значно економічні за питомими витратами енергії – 3...4 МДж/кг випареної вологи. Дозволяють використовувати радіаційне або комбіноване підведення енергії до функціональної ємності. Існує сушарка типу СТП-50, яка має продуктивність за сировиною 50 кг/год (для картоплі), установлену електричну потужність – 45 кВт, розміри – 3000x1200x2200 мм, має пульт електронного управління режимами сушіння в межах від 30° до 100° С. Може використовуватися для сушіння картоплі, моркви, інших овочів, плодів, пряно-ароматичної сировини, горіхів, солоду, дріжджів тощо.

#### Контрольні запитання

1. Якими основними вимогами користуються під час вибору способу та устаткування для сушіння тієї чи іншої сировини?
2. За якими чинниками проводять класифікацію сушарок?
3. Наведіть загальну функціональну схему сушарки.
4. Які типи сушильних установок застосовують для зневоднювання овочів і плодів?
5. Як улаштовані парові конвеєрні сушарки та як здійснюється процес сушіння на цих установках?
6. Як улаштовані тунельні сушарки?
7. Охарактеризуйте сушарки з «киплячим» шаром.
8. Як улаштовані розпилювальні сушарки?
9. Принципи кондуктивного способу сушіння й застосовування сушарок одно- і двовалкових.
10. У чому принципова відмінність сублімаційного способу сушіння від конвективного й кондуктивного та як улаштована сублімаційна сушарка?
11. Як улаштована ЗТП-сушарка та в чому полягає суть способу ЗТП-сушіння?

## РОЗДІЛ 5 АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 5.1. Загальні функціональні схеми та алгоритми управління сушильним обладнанням

Із метою забезпечення ефективності використання енергії та якості готової продукції сушильне обладнання повинно бути забезпечене контролюючими, реєструючими та регулюючими приладами й виконавчими елементами, які регулюють і підтримують вибраний режим сушіння. Сам режим сушіння може бути ступеневим, тобто під час сушіння плавно або дискретно змінюватися. Тому впровадження автоматичних засобів у сушильне обладнання забезпечує високу (раціональну) продуктивність обладнання, високу якість сушеної продукції, зменшення енергетичних і матеріальних витрат на процес сушіння. Таким чином, автоматизація сушарок повинна забезпечити вибраний режим сушіння й задовольняти вимоги таких правил експлуатації:

- здійснювати попередній попереджувальний сигнал перед пуском обладнання, у якому є рухомі вузли;
- пуск усіх електроприводів із контролем часу їх розгону до номінальної швидкості;
- увімкнення попередньої вентиляції топки перед спрацюванням відповідного запального пристрою топки (для газової та рідинно-паливної топки);
- забезпечення певної послідовності пуску вентиляторів сушильних та охолоджувальних камер;
- забезпечення певної послідовності пуску теплогенеруючого пункту та ввімкнення парових або електричних калориферів, радіаційних генераторів енергії (ІЧ, НВЧ);
- подача палива до пальника в автоматичному режимі з системою контролю полум'я;
- пуск транспортувальних пристроїв;
- забезпечення аварійної зупинки сушарки в разі неправильної роботи або за пікового навантаження;
- додаткові операції, що забезпечують нормальну безаварійну роботу вузлів і пристроїв;
- системи екологічного контролю;
- система електро- та пожежної безпеки.

Перелічені правила не є кінцевими й можуть змінюватися згідно з вимогами до певного обладнання, електро- та пожежної безпеки, охорони праці, санітарними нормами та екологічними вимогами.

Загальну функціональну схему управління сушаркою подано на рис. 5.1.



**Рисунок 5.1 – Функціональна блок-схема системи контролю та управління сушарки**

Кожна операція має свій алгоритм, який підпорядковується загальному алгоритму, тобто принципу управління режимом та роботою сушарки. Це досить складний алгоритм. Наприклад, якщо температура в будь-якій зоні сушарки перевищує задану, то відповідний сигнал надходить на виконавчий елемент, електропривід заслінки або шибера, що відкриває доступ холодному



повітря. Коли температура вирівнюється із заданою, той самий або інший виконавчий елемент повинен закрити пристрій.

При цьому сама система регулювання повинна бути простою, надійною, легкою в обслуговуванні, мати великий (не менше року) гарантійний строк експлуатації.

Практична реалізація автоматизації роботи сушарки на сьогодні значно спрощується завдяки можливості комп'ютерного управління. Але для цього потрібно мати відповідне програмне забезпечення. Крім програмного забезпечення, повинні бути вихідні дані для виконання завдання комп'ютером. Такі дані отримують експериментальним шляхом, вивчаючи кінетику сушіння, кінетику температури сировини, розподіл температури за об'ємом сушарки, залежність тривалості сушіння від навантаження сировиною, залежність кінетики від виду вихідної сировини тощо. Також можна використовувати відповідні математичні залежності, що викладені в довідниках, науковій літературі, підручниках.

## **5.2. Вимірювання температури сушильного агента в зонах сушильної камери**

Прикладом вимірювання й регулювання температури в зонах сушарки можна вибрати систему, що встановлена на сушарках СПК-4Г. Схемою передбачено контроль та регулювання температури в кожному ярусі сушарки, вологості повітря в камері сушіння, тиску в паровій магістралі перед колектором. Необхідна для режиму температура в сушарці підтримується регулятором температури. Для цього використовують пристрій, що управляє регулювальним клапаном на паровій магістралі. Схемою також передбачено світлову сигналізацію про наявність напруги та вмикання приводів транспортуючих пристроїв і вентиляторів. Кожний ярус парових калориферів не залежить один від одного. Регулювання починають із нижнього ярусу калориферів і послідовно продовжують над кожною сіткою за допомогою вентилів, установлюючи відповідну витрату пари. Правильність вибраного положення вентиля контролюють за допомогою відповідних ртутних термометрів, що знаходяться над кожним ярусом конвеєрів. Після досягнення вибраного розподілу температури по сушарці вмикається автоматична підтримка заданого режиму.

Аналогічні операції та схеми використовують і в інших сушарках. Найпростіші схеми є в камерних сушарках з електричними калориферами. Сучасні вимоги управління потужними електричними пристроями, а саме вмикання або вмикавання цих пристроїв у момент часу, коли фаза струму дорівнює нулю, дозволяє запобігти стрибкам напруги в електричній мережі. Це досягається спеціальними електронними пристроями, які вмикають або вмикають калорифери в певний момент часу. Виконавчими елементами є тиристори або семистори відповідної потужності.

Для вимірювання вологості повітря використовують відповідні датчики, наприклад кварцові, для яких відома залежність резонансної частоти від

вологості повітря, у якому вони розміщені. Пряме вимірювання «вологого» термометра відбувається за стандартною методикою. Необхідно пам'ятати, що саме останній спосіб є прямим вимірюванням вологості повітря за допомогою психрометричної таблиці, усі інші є непрямими й для них потрібні градуйовані залежності. Оскільки на показання «вологого» термометра впливає швидкість повітря, то треба використовувати відповідний поправковий коефіцієнт.

Як вимірювачі температури, крім термометрів, використовують термопари, термометри опору, напівпровідникові термометри, манометричні термометри.

### **5.3. Вимірювання витрат сушильного агента, пари, електроенергії. Розрахунок питомих витрат енергії.**

Для вимірювання швидкості та витрат повітря використовують різні прилади та пристрої. Найбільш широко на практиці використовують: крильчасті та чашкові анемометри, пневмометричні трубки, діафрагми (шайби), електро- та термоанемометри.

*Чашкові анемометри* вимірюють швидкість повітря в межах від 1 до 20 м/с із початковою чутливістю 0,5...0,8 м/с та відносною похибкою не більше 5%.



**Рисунок 5.2 – Чашковий анемометр**

*Пневмометричні трубки* – це варіанти трубки Піто, принцип дії яких засновано на вимірюванні динамічного тиску за різницею між повним тиском і статичним.



**Рисунок 5.3 – Пневмометричні трубки**

*Електро- та термоанемометри* вимірюють потоки повітря за залежністю температури тонкої нитки високоомного дроту, а отже, і його опору, від швидкості повітря, яке його омиває. Такі пристрої дуже чутливі й можуть фіксувати турбулентність, пульсації в потоці повітря. Ці пристрої часто використовують у наукових дослідженнях з гідродинаміки та тепломасообміну.



**Рисунок 5.4 – Термоанемометр**

Для вимірювання витрат повітря використовують діафрагми, де за показаннями манометрів установлюють динамічний тиск повітря, що протікає крізь діафрагму, обчислюють швидкість, а потім добутком швидкості повітря на площу перерізу діафрагми – секундну об'ємну витрату повітря. Густина повітря за заданої температури знаходять у довідкових таблицях або обчислюють за рівнянням Клапейрона–Менделєєва для ідеального газу. Знаючи густина повітря, добутком на об'ємну секундну витрату знаходять масову секундну витрату агента сушіння.

Витрати пари в паропроводі вимірюють за допомогою шайби. Для цього між фланцями паропроводу встановлюють шайбу з отвором, меншим за отвір паропроводу. За різницею між статичним і динамічним тиском обчислюють швидкість руху пари, а добутком на площу перерізу шайби – об'ємну секундну витрату. Знаючи тиск у паропроводі, за таблицею для водяної пари знаходять густина й потім масову секундну витрату пари.

Витрати електроенергії на роботу сушарки вимірюють трифазними електрорічильниками. Отримані показники за витратами енергії у вигляді витрат палива на приготування пари та електроенергії відносять на кількість випареної вологи. Цей показник є найважливішим з економічної точки зору й характеризує ефективність способу сушіння, раціональність режиму сушіння, економічність сушарки. За будь-яких умов аналізом і регулюванням режимів роботи сушарки фахівцями виробництва (інженерами з тепло- та енергозабезпечення, технологами сушильного виробництва, механіками та електриками) цей показник повинен бути найбільш зменшений.

## Контрольні запитання

1. Яких загальних вимог повинні дотримуватися під час розробки схем регулювання процесом сушіння?
2. У чому полягають основні принципи регулювання процесом сушіння?
3. Наведіть загальний алгоритм управління процесом сушіння.
4. Як вимірюється температура в різних зонах сушарки?
5. Як вимірюються витрати сушильного агента та енергоносіїв (пари та електроенергії)?
6. Як проводиться розрахунок питомих втрат на процес сушіння?

## РОЗДІЛ 6

### ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

#### 6.1. Загальна характеристика рослинної сировини як об'єкта сушіння

Вибір оптимального способу сушіння завжди визначається природою матеріалу й вимогами до якості кінцевого продукту. Здебільшого останній чинник є визначальним, тому що одержання кінцевого продукту із заданими характеристиками (низький кінцевий вологовміст, пористість, збереження складу визначеного виду речовин, збереження натурального кольору, мінімальні втрати речовин під час зберігання тощо) може бути раціонально реалізовано лише під час застосування визначених способів і режимів зневоднювання.

Але якість сушеної продукції насамперед визначається вихідною сировиною, її якістю, ботанічною зрілістю, умовами попереднього зберігання. Харчову рослинну сировину, із точки зору використання для сушіння, можна класифікувати за декількома ознаками. Якщо поєднати ботанічні й господарські ознаки, можна відокремити такі класи сировини:

##### 1) плоди:

- насіннячкові – яблука, груші, айва, горобина;
- кісточкові – вишні, черешні, сливи, абрикоси, персики;
- ягоди – агрус, виноград, смородина, полуниця, малина тощо;
- субтропічні плоди – лимони, апельсини, мандарини, грейпфрути;
- тропічні плоди – банани, ананаси, фініки, інжир, манго тощо.

##### 2) овочі:

- бульбоплоди – картопля, топінамбур;
- коренеплоди – морква, буряк, редиска, ріпа;
- капустяні овочі – усі види капусти;
- цибульні овочі – усі види цибулі, часник;
- томатні овочі – томати, перець, баклажани;
- гарбузові овочі – огірки, дині, гарбузи, кабачки, патисони;
- зернобобові – горох, квасоля, кукурудза;
- овочева рослинність – салат, шпинат, щавель;
- пряні овочі – кріп, петрушка, селера, естрагон, базилік;
- десертні овочі – ревінь, спаржа, артишок.

Перелічена рослинна сировина має різний термін зберігання після збирання врожаю, що треба враховувати під час організації сушильного виробництва та способів транспортування сировини до виробництва. Найкоротший термін зберігання з плодів мають полуниця та малина (3–7 діб); короткий (7–14 та 15–30 діб) – шпинат, брюсельська капуста, персики, вишня, цвітна капуста, смородина, селера, ревінь, петрушка, слива тощо; тривалий – картопля, морква, буряк, гарбуз, корінь петрушки та селери тощо.

Незважаючи на різноманітність рослинності, їх побудова в цілому схожа. Насамперед основною структурною одиницею є клітина. Загальний вигляд клітини під мікроскопом показано на рис. 6.1. Основну частину об'єму клітини

займає вакуоля, де зосереджено майже увесь запас поживних речовин (цукор, білки) та продукти обміну – алкалоїди, феноли. Саме у вакуолі зосереджена більша частина вологи, а оболонка клітини чинить опір видаленню вологи під час сушіння. Клітини зчіплюються між собою за допомогою серединних пластинок, які мають такі самі функції, що й оболонка. По їхнім каналам (порам) за допомогою провідникових ниток-каналів (плазмодесму) відбувається перенесення речовини від клітини до клітини. Сукупність клітин утворюють тканину. Тканини рослини можна поділити на види: покривні; запасуючі; механічні; провідникові; меристематичні (ті, із яких утворюються нові клітини та тканини).



**Рисунок 6.1 – Рослинна клітина**

Хімічний склад умовно (з огляду на процес сушіння) поділяється на вологу та суху речовину. Співвідношення між ними називається вологовмістом. Вологовміст сировини залежить від її виду, ступеня зрілості, сорту тощо. Зазвичай вологовміст коливається в межах від 300–1000%. Суха речовина складається з цукрів, крохмалю, пектинів, клітковини та інших речовин, у тому числі вітамінів. Також до сухих речовин належать макро- (фосфор, натрій, калій, кальцій, магній, кремній, марганець, хлор) і мікроелементи (залізо, мідь, цинк, йод, барій, молібден, сірка).

Для сушіння важливими, майже основними, є механічні та теплофізичні характеристики сировини. Перші зумовлюють такі операції, як транспортування, очищення, подрібнення, другі – витрати теплоти на процес сушіння, швидкість сушіння тощо. Із теплофізичних характеристик основними є теплоємність та теплопровідність. Сюди ж необхідно відносити й масообмінні характеристики, які залежать від багатьох чинників.

Тепло- та масообмінні характеристики обчислити за допомогою формул не можливо, бо сама сировини є дуже складною за цими показниками, але є певні емпіричні рівняння, які в деяких випадках дозволяють оцінити ці характеристики. Наприклад, теплопровідність сировини можна пов'язати з вологовмістом й оцінювати відносно теплопровідності чистої води.

## 6.2. Зберігання сировини

### 6.2.1. Загальні прийоми зберігання плодів та овочів

Зберігання рослинної сировини необхідно розглядати як етап безперервного технологічного процесу від вирощування до виробництва сушеної продукції. Умови вирощування, сортність, час збирання врожаю, умови транспортування сировини до сховища є складовими чинниками, що будуть зумовлювати *лежкість* сировини до її надходження у виробничий цикл. *Лежкість* – *максимально можливий термін зберігання сировини за оптимальних умов, за якого не відбувається суттєвих змін у якості цієї сировини.* Розрізняють *природну та технічну лежкість*. Перша зумовлена сортом сировини, генетичними особливостями, а друга – умовами вирощування, часом та технологією збирання врожаю, транспортуванням, умовами зберігання. Завданням зберігання є забезпечити такі умови для технічної лежкості сировини, які максимально враховують потенціальну природну лежкість і знання про перебігання фізичних і біохімічних процесів у сировині під час зберігання.

Основними зовнішніми проявами, які вказують на необхідність завершення зберігання рослинної сировини, є:

- втрата свіжості;
- підсихання та опадання ягід із гілочок;
- зміна властивого сировині кольору;
- поява гнилизни (більше 5%) та фізіологічних захворювань (більше 5–10%).

Під час зберігання спостерігається зменшення маси сировини за рахунок дихання (випаровування вологи), втрат від гнилизни, механічних пошкоджень, псування тваринами, комахами тощо. Усі ці чинники скорочують можливий термін зберігання. Крім того, для харчової сировини важливим є її хімічний склад. Знаходячись у стані анабіозу, у сировині відбуваються біохімічні та ферментативні реакції, які також призводять до псування її вихідних споживчих і харчових властивостей.

Для того щоб уникнути впливів цих чинників, використовують певні технології зберігання харчової сировини. Ці технологічні прийоми починають застосовувати ще на ланах і в садах, де вирощують рослини. Відомо, що час і температура, за якої збирається врожай, певним чином впливають на подальший термін зберігання. Особливо це стосується фруктів і ягід. Ягоди необхідно збирати в суху погоду вранці. У перші 5–6 год ягоди на 30–50% втрачають свої якісні показники. Приблизно таку ж тенденцію має й пряно-

ароматична рослинність. Особливу увагу приділяють тарі, у якій сировина транспортується: вона не повинна завдавати механічного пошкодження сировині. Більшість овочів необхідно збирати в суху досить прохолодну погоду або залишати на ніч для охолодження. Але слід пам'ятати, що за високої температури й низької вологості повітря овочі будуть втрачати масу через випаровування вологи: у першу добу найвища швидкість втрат вологи, яка потім зменшується у 5–10 разів.

Охолодження сировини сприяє зменшенню її дихальної активності, причому чим більша швидкість охолодження ( $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ), тим більший ефект від цієї операції.

Основне зберігання проводиться за низької температури. Другим важливим чинником зберігання є вологість повітря. За умови збільшення вологості повітря можна значно скоротити втрати маси сировини за рахунок випаровування й зменшити небезпеку мікробіологічного псування овочів, що схильні до високої здатності випаровування: пряно-ароматична рослинність, кабачки, морква. Слід пам'ятати, що втрата вологи можлива й за 100% вологості повітря: сировина, що зберігається, знаходиться за межами гігроскопічної області, а термодинамічна нерівновага з оточенням, повільні процеси дихання та біохімічні процеси призводять до втрат маси. Вологість повітря та температура зберігання – це взаємопов'язані зовнішні чинники процесу, тому їх вибирають такими, за яких сировина не в'яне, не всихає, не зморщується, не гние.

Повітря у сховищі має рухатися, для цього створюють умови для природної тяги повітря або використовують штучну вентиляцію. Це сприяє рівномірному розподілу температури у сховищі, виключає можливість утворення застійних зон.

Значних результатів можна досягти під час використання повітря з регульованим складом, а саме: низьким вмістом кисню (до 5%) і високим рівнем вуглекислого газу (до 3...5%). Але високий вміст вуглекислого газу (понад 10%) може негативно позначитися на зберіганні: сировина темніє, псується мікроорганізмами. У регульованій атмосфері можна зменшити втрати якості сировини та збільшити термін зберігання у 2–3 рази. Але це досить дорога технологія й використовується під час тривалого транспортування (на морських судах, спеціалізованих рефрижераторах) або для тривалого зберігання сировини, що надходить у торгову мережу в зимовий період.

Для дезінфекції сховища та сировини під час зберігання використовують УФ-випромінювання, озонування атмосфери, що значно покращує умови зберігання овочевої та плодової сировини.

### *6.2.2. Фізичні та біохімічні процеси в сировині під час зберігання*

Основним процесом під час зберігання рослинності є дихання. Цей процес протилежний фотосинтезу й пов'язаний із розпадом (витратами) накопичених у вегетативний період поживних речовин, в основному вуглеводів (цукру та крохмалю). Під час дихання виділяється теплота, що підтримує



життєдіяльність рослини. Розрізняють *аеробне та анаеробне* дихання. Перше відбувається за рахунок окиснення цукру (глюкози) з участю кисню з утворенням вуглекислого газу та води, друге – (бродиння) без участі кисню з утворенням спиртів, альдегідів, кислот тощо. Останній процес дихання значно скорочує термін зберігання сировини за рахунок більших витрат органічних речовин і псування якості утвореними продуктами анаеробного дихання. Процес дихання не є сталим для сировини й змінюється з часом, залежить від температури, вологості та хімічного складу середовища, у якому зберігається сировина. Необхідно знати, що будь-яке псування цілісності плодів та овочів підвищує інтенсивність дихання, тобто призводить до зменшення терміну зберігання.

Крім механічних ушкоджень, важливими чинниками є фізіологічні пошкодження: хвороби, паразити, гриби, плісень тощо. Це також призведе до пошкодження цілісності плодів і підвищує інтенсивність газообміну: овочі мобілізують внутрішні механізми для боротьби з пошкодженнями.

До основних фізичних процесів належать тепло- та масообмін під час зберігання. Теплообмін зумовлений виділенням теплоти дихання, а масообмін – випаровуванням вологи й газообміном (вуглекислим газом) з оточенням. Ці процеси перебігають за відповідними фізичними законами.

Необхідно пам'ятати, що не вся рослинність відразу після збирання має максимальну смакову якість і лише на етапі зберігання досягається повне дозрівання сировини (яблука, груші, персики, томати тощо), після чого починається етап фізіологічного старіння сировини. На цих етапах відбувається:

- активізація процесів деструкції;
- гальмування метаболізму;
- накопичення шкідливих речовин;
- зниження імунітету;
- різке зростання втрат;
- погіршення органолептичних показників.

Основним біохімічним процесом, що перебігає в рослині під час зберігання, є взаємне перетворення *крохмаль ↔ цукор*. Накопичення цукру може відбуватися також за рахунок гідролізу пектинових речовин. На ці перетворення суттєво впливає температура сировини. Так у картоплі в разі зниження температури відбувається перетворення крохмалю в цукор, який використовується для інтенсифікації дихання, а теплота, що виділяється при цьому, – для збільшення температури. Це негативний процес із точки зору подальшого сушіння, бо підвищений вміст цукру сприятиме потемнінню картоплі за рахунок реакції меланоїдиноутворення.

Під час зберігання кількість кислот у сировині повільно зменшується, але не за всіма видами кислот. Це зумовлено утворенням нових, не властивих вихідній сировині кислот, у результаті біохімічних реакцій під впливом зовнішніх чинників (умов) зберігання. Надлишок кислот, як і їх недостатній вміст, погіршують якість продукції: у першому випадку спостерігається

захворювання тканин (побуріння) і погіршення смаку, у другому – порушення умов для обміну речовин (метаболізму).

Рослинність є основним джерелом надходження вітамінів до організму людини. Але кількість вітамінів під час зберігання зменшується. При цьому темп зменшення залежить від виду рослинності, сорту, ступеня зрілості до етапу зберігання, умов зберігання тощо. Наприклад, листяна городина втрачає 50% вітаміну С після 48 год зберігання за 10° С, а картопля втрачає цю кількість лише після 150-200 діб.

Усі ці чинники, а також мікробіологічна дія та дія мікрофлори, накопичення продуктів метаболізму скорочують термін зберігання сировини, роблять її непридатною для подальшого сушіння, погіршують якість сушеної продукції. Тому сушіння необхідно проводити якомога скоріше після збирання врожаю.

### 6.2.3. Технологія та техніка зберігання сировини

Основні технології та техніка, що використовуються для зберігання сировини, базуються на оптимальних умовах зберігання для вибраної сировини. Це в першу чергу температура й вологість повітря, що підтримується у сховищі за допомогою відповідних технічних пристроїв. Режими зберігання асортименту харчової рослинної сировини наведено в табл. 6.1.

**Таблиця 6.1 – Рациональні режими зберігання харчової сировини рослинного походження**

Вид сировини	Температура зберігання, °С	Вологість повітря, %	Термін зберігання
<b>ФРУКТИ</b>			
Яблука	-1...+4	85...95	1–12 міс.
Груші	-1...+5	85...95	1–7 міс.
Виноград	-1...+2	85...95	1–6 міс.
Сливи	-1...+1	85...95	1–8 тижн.
Персики	-1...+1	85...95	1–6 тижн.
Абрикоси	-1...+1	85...95	1–6 тижн.
Черешні	-1...+1	85...95	1–4 тижн.
Вишні	-1...+1	85...95	1–4 тижн.
Полуниця	-1...+1	85...95	1–15 діб
Малина	-1...+0,5	85...95	1–7 діб
Смородина	-1...+1	85...95	1–6 тижн.
Апельсини	0...+10	80...90	1–6 міс.
Мандарини	1...+7	85...90	1–4 міс.

1	2	3	4
Лимони	2...+14,5	85...90	1–9 міс.
Банани	11...+16	85...90	5–20 діб

<b>ОВОЧІ</b>			
Картопля	2...10	85...95	4–12 міс.
Морква	-1...+1	90...95	3–8 міс.
Буряк	-1...+2	85...95	3–7 міс.
Гарбуз	0...+13	85...95	2–7 міс.
Цибуля	-3...+1	60...80	4–12 міс.
Часник	-2...0	75...80	3–7 міс.
Капуста	-1...+1	90...95	1–8 міс.
Перець	7...+10	85...95	1–8 тижн.
Шпинат	0	90...95	10–14 діб
Пряно-ароматична рослинність	0...1	90...95	12–48 год (для сушіння), до 1 міс. (торг)

Додатково використовують озонування приміщення, його ультрафіолетову обробку та заходи для знищення шкідливих тварин і комах. Необхідно пам'ятати, що використання отруйних хімікатів для боротьби з комахами та шкідливими тваринами у сховищах, де зберігається сировина для подальшого сушіння, суворо обмежене, а у сховищах, де зберігається сушена продукція, категорично забороняється. Тому ці сховища мають відповідні особливості в будівлі: двері, що щільно зачиняються, вимощену або зацементовану підлогу тощо.

Під час транспортування сировини до сушильного цеху використовують засоби та пристрої, які дозволяють запобігти механічному пошкодженню сировини, її забрудненню, попаданню атмосферних опадів тощо.

### **6.3. Попередня підготовка сировини до сушіння**

#### *6.3.1. Загальна характеристика технологічних процесів попередньої підготовки*

Мета підготовчих процесів у овочесушильному виробництві – привести сировину до такого виду, щоб у результаті сушіння (зневоднювання) виходили готові продукти, придатні до вживання із задовільною якістю, що відповідає вимогам діючих ДСТУ.

Технологічні процеси підготовки сировини до сушіння мають велике значення, тому що якість, харчова й біологічна цінність сушеного продукту, кількість відходів і втрат сировини, а також витрати праці на її оброблення значною мірою залежать від способів попереднього оброблення.

У собівартості сушених овочів і фруктів витрати на сировину становлять 70–85%, тому під час підготовки їх до сушіння дуже важливо звести до мінімуму кількість відходів і втрат. Вихід сушених продуктів прямо залежить від вмісту сухих речовин у підготовленій сировині, у зв'язку з цим для оброблення необхідно вибирати такі способи й устаткування, які б забезпечували найменші втрати сухих речовин.

Іншою істотною умовою підготовчих операцій є високі вимоги до санітарно-гігієнічних показників підготовленої сировини, що надходить на сушіння. Оскільки під час сушіння стерильність продукту не досягається, то для одержання висушеного продукту з мінімальною засіяністю мікроорганізмами необхідно підготувати сировину.

Способи підготовки картоплі, овочів і фруктів до сушіння можуть бути різними залежно від потужності підприємства, ступеня оснащення його технологічним устаткуванням і виду сировини, що переробляється.

Овочі, картопля й фрукти, доставлені на підприємство й призначені для сушіння, проходять попередню підготовку: миття, сортування, інспекцію, калібрування, очищення й доочищення, різання, бланшування й сульфитацію.

Миття, сортування, інспекція й калібрування овочів і фруктів не змінюють ні їх анатомічної будови (очищення й різання), ні колоїдних властивостей і хімічного складу (бланшування й сульфитація). Послідовність здійснення цих операцій у виробничих умовах залежить від виду сировини, її якості й технологічної схеми перероблення. За зниженої якості сировини інспекцію доводиться замінити перебиранням, у цьому разі сировину спочатку перебирають, а потім мийуть.

Білокачанна капуста не має потреби в калібруванні за розміром. У капусти відсортовують лише дуже дрібні й недорозвинені качани. Картопля й коренеплоди, навпаки, вимагають ретельного калібрування, особливо перед очищенням механічним або пароводотермічним способом. Калібрування сировини на кілька розмірів, якщо це потрібно відповідно до характеру технологічного процесу, здійснюється здебільшого після миття або інспектування.

Під час виробництва сушених яблук без видалення шкірочки величина плодів не має істотного значення й сортування за розмірами не проводиться. Якщо застосовується машинне очищення плодів перед сушінням, то калібрування обов'язкове, тому що машини вимагають налаштування на певний розмір плода.

### *6.3.2. Операції транспортування та миття сировини*

*Транспортування.* Сировинні зони овочесушительних заводів, як правило, розташовані від них на відстані декількох десятків кілометрів. Залежно від місцевих умов сировина доставляється на завод автомобілями, залізничним або водним транспортом.

Картоплю, коренеплоди й цибулю дозволяється перевозити насипом. Більш ніжні овочі й плоди, щоб уникнути механічних ушкоджень, які

викликають витікання соку й забруднення мікроорганізмами, транспортують у дерев'яних ящиках або контейнерах, ягоди – у решетах і кошиках.

Сировину, що надійшла на завод, відразу зважують на автомобільних вагах і розвантажують або на сировинні площадки, якщо вона призначена для перероблення, або у сховище для тривалого зберігання.

Після зважування під час приймання сировини перевіряють відповідність її якості вимогам діючих стандартів і відповідність зазначеної в накладній сортності за допомогою органолептичного (випробування й зовнішній огляд) і технохімічного аналізу.

Розвантаження сировини з автомобілів, подачу в цех та інші операції на сировинній площадці здійснюють за допомогою автотранспортувачів, авто- й електрокарів, гідравлічних і стрічкових транспортерів, рольгангів та інших механізмів. Сировинні площадки розраховані на створення резервів сировини для безперебійної роботи підприємств і містять одно-, дводобовий запас. Вони можуть бути відкритими (на плодотеробних підприємствах), під навісом для захисту від сонця й закритими (на овочесушальних заводах).

Картоплю, коренеплоди, цибулю, зелений горошок можна зберігати насипом. Плоди та ягоди ставлять на зберігання штабелями в ящиках, у яких вони надійшли. Під час подачі у виробництво дотримується чітка черговість перероблення з урахуванням якісного стану сировини й часу надходження.

Сировина з буртового поля і сховищ транспортується на сировинні площадки цехів у контейнерах і ящиках на піддонах електротранспортувачами, електрокарами й тракторами з причепами, а також насипом транспортерами (стрічковими, скребковими, ковшовими, гідравлічними) і насосами.

Із контейнерів сировину вивантажують у мийні машини контейнероперекидачем, із ящиків – ящикоперекидачем і вручну. Під час безтарного зберігання сировини підлоги в засіках овочесховищ роблять із нахилом 35° убік гідротранспортера.

*Гідравлічний транспортер* являє собою жолоб, прокладений у землі або на естакаді, з ухилом 10–15 мм на 1 м. На поворотах ухил збільшується на 20–25%. У жолоб подаються вода й продукт у пропорції приблизно (4–8):1. Вода разом із продуктом рухається в жолобі зі швидкістю 0,7–1 м/с. Жолоби виготовляють із металу, дерева, бетону й цегли. Найпоширенішими профілями є напівкруглий і прямокутний із закругленою підставкою.

Під час переміщення сировина частково відмивається від землі й піску, у пастках уловлюються камені. Лотік гідротранспортера зазвичай закінчується в підвалі сировинного відділення, вода через ґрати зливається в приямок і знову перекачується через збірник у гідротранспортери, а бульби й коренеплоди скочуються в завантажувальний ківш елеватора й подаються в мийні машини.

Транспортери стрічкові, скребкові, сітчасті, тросові та інші слугують для переміщення сировини всередині цеху й побудовані за одним принципом. Основними частинами транспортерів є робоче полотно (стрічка, сітка або трос), по якому рухається продукт, привідна станція з привідним валом, ведучим барабаном і приводом, натяжна станція з веденим валом, веденим барабаном і натяжним пристроєм і підтримувальними верхніми та нижніми роликками.



**Рисунок 6.2 – Гідравлічний транспортер**

*Стрічкові транспортери* мають робоче полотно, що являє собою стрічку з прогумованої бавовняної тканини, що складається з двох або декількох шарів. Ширина робочих стрічок може бути від 300 до 1600 мм, число шарів у тканині стрічки – від 2 до 11. Відстань між підтримувальними роликami залежить від навантаження й провисання стрічки, що допускається. Звичайно цю відстань на робочій гілці приймають рівній 900–1500 мм і на холостій – 2000–3000 мм.



**Рисунок 6.3 – Стрічкові транспортери**

Для розвантаження картоплі з вагонів і барж, а також для навантаження картоплі в автомобілі зі сховищ користуються стрічковими транспортерами полегшеного типу, що мають замість підтримувальних роликів гладкий металевий аркуш (смуга, по якій безпосередньо сковзає робоча гілка стрічки). Ці транспортери виготовляють звичайно з урахуванням вимог технологічного

процесу й умов роботи, продуктивність їх 15 т/ч, ширина робочої стрічки у два шари 300 мм, швидкість руху стрічки до 1 м/с.

Найпоширеніші на овочесушильних заводах пересувні транспортери довжиною 10...15 м із шириною стрічки 500 і 650 мм. Вони можуть переміщати вантажі в горизонтальному й похилому напрямках. Якщо кут нахилу стрічкового транспортера зменшити неможливо, то до стрічки прикріплюють поперечні планки, що втримують продукт від падіння.

*Ківшові транспортери (норії)* застосовують для вертикального або крутого похилого переміщення сировини. Вони являють собою безперервно діючі підіймачі, що складаються з голівки, нескінченної стрічки або ланцюгів із ковшами. Стрічка з ковшами звичайно закривається захисними кожухами. Голівка транспортера складається з ведучого барабана з валом, що обертається в підшипниках. На виступний кінець вала насаджений шків, за допомогою якого елеватор приводиться в рух.



**Рисунок 6.4 – Кiвшовий транспортер**

Продукт надходить через завантажувальну лiйку й захоплюється ковшами, що безупинно рухаються нагору. У голiвцi норiї пiд час обгинання стрiчки з ковшами провiдного барабана продукт висипається з перекидних ковшiв i подається до мiсця призначення.

Кiвшовi транспортери можуть транспортувати сировину на рiзну висоту. Швидкiсть руху ковшiв для стрiчкових норiй 0,8–3,5 м/с, для ланцюгових – 0,3–1 м/с, тому що за бiльшiй швидкостi ланцюги швидко зношуються.

Для транспортування сировини всерединi цеху й передачi її з однiєї технологiчної операцiї на iншу застосовують також спецiальнi кiвшовi

транспортери, наприклад, транспортер типу «гусяча шия». Транспортери цього типу слугують для піднімання продукту на висоту від 1,5 до 4 м.

*Миття.* Ця операція в процесі підготування сировини перед сушінням проводиться кілька разів, наприклад до й після очищення плодоовочевої сировини. Від миття в основному залежить засіяність мікроорганізмами підготовленого продукту.

Усі види сировини, що надходить на сушіння, піддаються миттю. Сировину миють у цілому або подрібненому вигляді. Кожний вид сировини вимагає свого способу миття. Важливо, щоб миття відповідало таким загальним вимогам: було ефективним, не призводило до підвищеної втрати сухих речовин, не викликало ушкоджень, які під час наступних операцій могли б викликати надмірні втрати, а в процесі сушіння зміну кольору, витрати води повинні бути економними. Миття передбачає видалення з поверхні овочів, картоплі й фруктів залишків землі, піску й інших забруднень, сторонніх важких (камені, цвяхи та ін.) і легких (солома, листя, гілочки та ін.) домішок. Під час миття сировина частково звільняється від мікроорганізмів і ядохімікатів. Добре вимита сировина не повинна мати на поверхні залишків бруду.

Під час миття ретельно стежать за тим, щоб бруд не залишався у вічках (у картоплі), у листяній частині й між розгалуженими коріннями (у коренеплодів), у поглибленнях плодоніжки й чашечки (у зерняткових плодів) тощо. Особлива увага повинна звертатися на якість миття овочів, що безпосередньо контактують із ґрунтом (коренеплодів і бульбоплодів).

Миття овочів і плодів зазвичай проводять зануренням у воду, шляхом обприскування або комбінованим способом, тим та іншим послідовно; при цьому продукт може переміщуватися для підвищення ефективності миття або перебувати в спокої. Засохлий бруд із поверхні коренеплодів або бульб може бути вилучений лише під час попереднього відмочування.

Якість миття залежить від ступеня забруднення сировини, кількості й температури води, тривалості й інтенсивності тертя сировини під час миття.

Добре відмивається сировина за умови витрати води від 1 до 3 м<sup>3</sup> на 1 т продукту під час протитечії, тобто якщо свіжа вода надходить у мийну машину безупинно з боку виходу митої сировини.

Під час миття теплою водою (40...50° С) краще набухають грудочки бруду, розширюються пори шкірочки на поверхні овочів, завдяки чому якість миття істотно поліпшується.

Для миття використовують зазвичай водопровідну воду, воду з артезіанських свердловин і джерел. Із відкритих водоймищ і рік можна використовувати воду лише після ретельного її очищення. Вода повинна бути прозорою й безбарвною, без осаду й завислих частинок, без запаху й стороннього присмаку. Не допускається у воді вміст важких металів, сірководню, аміаку, нітратів і нітритів. Бажано для миття застосовувати м'яку воду або середньої жорсткості. Загальна засіяність води не повинна перевищувати 100 мікроорганізмів у 1 мл, допускається наявність трьох кишкових паличок в 1 л, анаеробні мікроорганізми повинні повністю бути



відсутніми. Якість води систематично перевіряється в санітарно-бактеріологічній лабораторії.

Надходження сировини в мийну машину повинно бути безперервним, не можна допускати недовантаження або перевантаження машини й подрібнювання картоплі. Кілька разів за зміну в лабораторії контролюють якість миття сировини.

Для миття картоплі, овочів і плодів застосовують машини різних типів і конструкцій – лопатеві, барабанні, вібраційні, вентиляторні, елеваторні, щіткові, струшувальні, душові й ін.

*Лопатеві мийні машини* являють собою напівциліндричні ванни, у яких із невеликою частотою обертається горизонтальний вал із закріпленими на ньому лопатями (кулачками), зануреними у воду. Для вловлювання важких домішок унизу є каменеуловлювач, а вгорі – переливні вікна для вловлювання легких домішок.



**Рисунок 6.5 – Лопатєва мийна машина**

Лопатеві (кулачкові) мийні машини бувають також із напівзануреними лопатями й комбіновані, у яких є камери із зануреними й напівзануреними лопатями. Лопатеві мийні машини випускають одно-, дво- і багатокамерні.

Лопатеві машини обладнані завантажувальним і розвантажувальним лотками й душовим пристроєм. Бульби або коренеплоди завантажують у ванну з водою через завантажувальний лоток. Під час обертання вала вони труться один об оден і об внутрішню поверхню ванни, відмиваючись і одночасно пересуваючись уздовж ванни, потім перекидаються черпаками в іншу камеру. На виході з машини сировина обполіскується чистою водою. Відпрацьована брудна вода видаляється через трубу в бічній стінці ванни. Бруд проходить через ґрати дна й збирається в нижній частині ванни, звідки потім видаляється через люки. Продуктивність лопатєвих мийних машин у середньому 2,5 т/год.

У лопатевих мийних машинах сировина промивається добре, проте ці машини громіздкі й сировина в них може механічно пошкоджуватися.

*Барабанні мийні машини.* Принцип роботи мийних машин цього типу заснований на тому, що сировина, обертаючись у барабані, який занурений у ванну з водою, просувається вперед, до виходу з нього. Одночасно завдяки взаємному тертю овочів або фруктів із них змивається бруд. На виході з барабана сировина обполіскується чистою водою зі спеціального душового пристрою. Бруд, що осідає на дно ванни, видаляють через очисний люк. Машини барабанного типу можуть бути з циліндричним або конічним барабаном. Останні застосовуються для миття моркви й інших овочів, що мають довгасту форму.



**Рисунок 6.6 – Барабанна мийна машина**

Усі типи мийних машин, рухомою частиною яких є барабан, недостатньо відмивають дуже забруднену сировину. Крім того, у разі переповненого барабана під час миття можливі також механічні пошкодження овочів або плодів. Тому барабанні мийні машини застосовують, як правило, для повторного миття картоплі й коренеплодів, а також для миття зерняткових плодів (яблук, груш, айви), які менше забруднені, ніж коренеплоди.

*Вібраційно-мийні машини* використовують для миття картоплі, буряка, моркви. Сировина відмивається водою, що подається з душових голівок, а також завдяки тертю бульб або коренів один об оден і в результаті вібрації.



**Рисунок 6.7 – Вібраційно-мийна машина**

Машина являє собою барабан, у який уварена труба з валом-вібратором із двома дебалансами. Під час обертання вала неврівноважені дебаланси викликають вібрацію барабана (1400 коливань за хвилину з амплітудою 6–8мм). Машина обладнана каменеуловлювачем.

У цій машині сировина відмивається добре, бруд видаляється із вічок і западин. Машина компактна, продуктивна (2–2,5 т/год), проте працює з великим шумом.

*Вентиляторні мийні машини* широко використовують для миття всіх видів легкошкоджуваних овочів і плодів. Машина складається з металевої ванни, у якій рухається сітчастий транспортер із двома горизонтальними ділянками й однією похилою. На транспортері є планки (кутники) для втримання продукту на стрічці під час підняття. Машина обладнана вентилятором, що нагнітає у ванну повітря.



**Рисунок 6.8 – Вентиляторна мийна машина**

Процес миття здійснюється в такий спосіб: ванну заповнюють водою, завантажують у неї сировину на транспортерну стрічку, що переміщає її через ванну, піднімаючи нагору, на похилій ділянці плоди або овочі обполіскуються водою з душу. Повітря, що нагнітається у ванну з водою, викликає бурління, що сприяє поліпшенню якості миття без пошкодження сировини. На виносній горизонтальній частині транспортера зайва вода стікає; тут же здійснюють інспекцію сировини. Вода з душу стікає у ванну, а брудна виливається по зливній трубці, розташованій у верхній частині ванни. Так забезпечується проточність води. Продуктивність таких машин від 3 до 5 т/год.

*Елеваторні мийні машини*, як і вентиляторні, застосовують для промивання легкошкоджуваних овочів і плодів.

Елеваторна мийна машина являє собою металеву ванну, у якій установлений похилый транспортер із металевою штампованою сіткою-стрічкою. Для кращого захоплення продукту на стрічці закріплюють кутники. Сировину безупинно завантажують у воду на стрічку транспортера, по якій вона пересувається з ванни й надходить на наступну операцію.

Над виступною з ванни частиною транспортера закріплений душ у вигляді двох водопровідних труб із дрібними отворами на нижній їхній стороні. Промита сировина обполіскується під душем, вода з душу потрапляє у ванну й витісняє брудну воду. Ванна обладнана переливною трубою, по якій видаляється зайва вода. Для спускання брудної води в нижній частині ванни встановлений секційний клапан.



**Рисунок 6.9 – Елеваторна мийна машина**

Як самостійні елеваторні мийні машини, як правило, не застосовують. Їх зазвичай встановлюють для попереднього миття перед вентиляторною або іншою мийною машиною, у якій проводиться остаточне миття й обполіскування продукту. Продуктивність елеваторних машин до 10 т/год.

Останнім часом застосовують уніфіковані елеваторні машини типів КУМ і КУВ. На відміну від звичайної елеваторної мийної машини, вони обладнані роликівим похилим транспортером, що виносить сировину з ванни до розвантажувальних пристроїв. На роликівому транспортері сировина перевертається й обполіскується з усіх боків чистою водою з душу.

*Струшувальні мийні машини.* Для обполіскування сировини після очищення й промивання нарізаної сировини, зокрема стовпчиків або кубиків картоплі від крохмалю, що виступив на поверхню, для охолодження після бланшування й інших технологічних операцій застосовують струшувальні мийні машини.

Принцип роботи цих машин наступний. Сировина надходить безупинно через завантажувальний бункер на сітчастий лотік і завдяки його зворотно-поступальному руху з невеликим нахилом повільно пересувається від завантажувального кінця до вивантажувального. Продукт, пересуваючись по лотіку, струшується й одночасно інтенсивно обмивається струменями води з душового пристрою, розташованого над лотіком.

*Сортування, інспектування й калібрування.* Мета цих операцій полягає в тому, щоб зменшити втрати сировини під час її подальшої обробки й отримати однорідний сушений продукт високої якості. Під час сортування плоди й овочі

розділяють на однорідні за формою, кольором і ступенем зрілості партії. Калібрування проводять для поділу сировини на однорідні за розміром партії.

До розсортованих овочів, картоплі й плодів можна застосовувати певні режими теплової й механічної обробки з урахуванням їх розмірів і ступеня зрілості. Це дозволяє уникнути розварюваності сировини під час бланшування, підвищених відходів під час механічного очищення, установити різні норми виробітку на ручних операціях із сировиною різного розміру, наприклад на доочищення картоплі, коренеплодів, цибулі.

Одночасно із сортуванням проводять інспектування сировини, за якого видаляють дефектні екземпляри (що загнили, ушкоджені, биті, цвілі, дуже забруднені), сторонні домішки й предмети, а також вирізають ушкоджені ділянки.

*Сортування за якістю й інспектування.* Ці операції проводять іноді на столах, а здебільшого виконують уручну на полотні стрічкових або роликівих транспортерів, якими рухається сировина в один шар, тому що під час багат шарового завантаження верхні плоди закривають нижні і їх важко оглянути. Працівники розміщаються по обидва боки транспортера через кожні 0,8...1,2 м, відбирають непридатні екземпляри й скидають їх у спеціальні збірники (кишені) для відходів. Якісна сировина залишається на стрічці транспортера й після обполіскування з душу передається на подальше перероблення.

Нормальні умови роботи забезпечуються за швидкості руху стрічки 0,08...0,1 м/с, рівномірного завантаження стрічки сировиною в один шар і задовільної освітленості приміщення. За великої швидкості руху транспортера важко контролювати якість сировини й правильно її сортувати.

*Інспекційний стрічковий транспортер* складається з каркаса й прогумованої стрічки шириною 0,6...0,8 мм, натягнутої між двома барабанами. По боках транспортера є спуски для видалення відходів. Відходи збираються в прямках і переміщуються гідравлічними, скребковими, шнековими, ківшовими транспортерами або насосами в збірники для утилізації або для вивезення за межі цеху. Іноді замість прогумованої стрічки застосовують металеву сітку. На такому транспортері вода не затримується, що створює певні зручності під час роботи. Після сортування сировина промивається водою з душу.



**Рисунок 6.10 – Інспекційний роликівий транспортер**

Для сортування й інспектування овочів і плодів застосовують також роликові транспортери. Робоче полотно такого транспортера складається з роликів, які повільно обертаються. Завдяки цьому плоди й овочі перевертаються під час просування, що допомагає їх оглянути з усіх боків.

Якість сортування й інспектування систематично контролюється лаборантами й майстрами.

*Калібрування сировини.* Цю операцію, тобто сортування за розмірами, здійснюють на спеціальних калібрувальних машинах: барабанних (для картоплі, буряка, моркви, цибулі), валкових (для картоплі й овочів), валково-стрічкових (для слив, абрикосів, вишень).

*Барабанна калібрувальна машина* являє собою похило встановлений на дерев'яній або металевій станині сітчастий дрововий барабан з отворами. Залежно від числа розмірів, на які повинен бути розділений продукт, що сортується, барабан ділять по довжині на кілька зон із різними розмірами отворів. Зона з найменшими отворами знаходиться з боку завантаження сировини, потім зона з більшими отворами й, нарешті, із найбільшими. Для кращого просування сировини вздовж барабана всередині нього встановлюють напрямну спіраль.



**Рисунок 6.11 – Барабанна калібрувальна машина**

На деяких овочесушильних заводах сировину калібрують у похилих (під кутом 18...20°) валкових калібрувальних машинах (типу КР-2) із трьома парами п'ятиступневих валків (щаблів), що обертаються зі швидкістю 30...40 об/хв у протилежні сторони. Між щаблями є щілини розміром 40...50, 60 і 70 мм, через які провалюються бульби певного діаметра й потрапляють у відповідний приймальний бункер. Продуктивність машини до 2 т/год.

*Валково-стрічкова калібрувальна машина* працює наступним чином. На станині, виготовлений із кутової сталі, змонтовані обертовий східчастий вал і нахилений до нього під кутом 35° стрічковий транспортер, що рухається зі швидкістю 0,8 м/с і переміщує плоди й овочі вздовж східчастого вала. На окремій стійці змонтований вібруючий бункер із днищем конічної форми, із

якого продукт, що підлягає калібруванню, надходить на стрічку. Бункер робить зворотно-поступальний рух. Сировина на стрічці транспортера розташовується в один ряд і переміщається вздовж щілини, ширина якої змінюється. Щілина утворюється стрічкою транспортера й східчастим валом, що обертається проти часової стрілки із частотою 155 об/хв.



**Рисунок 6.12 – Валково-стрічкова калібрувальна машина**

Просуваючись по стрічці, що рухається похило, овочі й плоди опираються на східчастий вал і обертаються навколо своєї осі, при цьому вони доходять до щілини між валом і стрічкою, більшої, ніж поперечний розмір окремого плода, і падають у збірники відповідно до свого розміру. Продуктивність машини

до 2 т/год яблук і до 1,4 т/год слив. Число калібрів у цій машині п'ять.

*Тросова калібрувальна машина* складається зі станини, двох верхніх і двох нижніх барабанів, двох напрямних роликів і сталевих тросів. Троси натягнуті на привідні барабани так, що в міру свого руху від першого до другого відстань між ними поступово збільшується. Плоди надходять у машину через лотік по напрямних жолобах на одну з пар тросів, що рухаються, і в міру руху починають провалюватися в послідовно розташовані збірники: спочатку дрібні плоди, потім середні й, нарешті, великі. Така машина може калібрувати плоди на 4–6 розмірів по 1...2 т/год.



**Рисунок 6.13 – Тросова калібрувальна машина**

Зелений горошок сортують за розміром у *флотаційних калібрувальних машинах*. Метод заснований на різниці густини зерен. Сировину завантажують у робочу рідину (воду або розсіл) певної густини, важкі горошини тонуть, а легкі спливають. Для флотаційного сортування існують спеціальні сортувальники.

### 6.3.3. Операції очищення та різання сировини

Очищення овочів і плодів проводять для видалення малоцінних у харчовому відношенні (шкірочка) і неїстівних (плодоніжки, кісточка, насінне гніздо) частин сировини. Крім того, із сировини, звільненої від шкірочки, що являє собою важкодоступний шар, швидше випаровується волога в процесі сушіння, а готовий сушений продукт має більш привабливий зовнішній вигляд і більш високу харчову цінність. Призначену для сушіння сировину очищають за допомогою машин. Плодоніжки вишні й сливи, гребені винограду, чашолистки ягід видаляють на гілочковідливних машинах, насінні гнізда плодів вирізають трубчастими ножами машин і гідротурбінками.

Вибір способу й устаткування для очищення сировини визначається видом овочів і фруктів, потужністю підприємства й видом готової продукції.

Розрізняють такі способи очищення овочів, картоплі та фруктів від шкірочки: термічні (паровий, пароводотермічний); хімічний (лужний); механічні (абразивною поверхнею, системою ножів, стисненим повітрям); комбіновані (лужно-паровий та ін.).

*Термічні способи очищення.* Серед цих способів очищення картоплі й овочів від шкірочки найбільше поширення одержав паровий спосіб.

За парового способу очищення картоплю й овочі піддають короткочасній обробці парою під тиском із наступним видаленням шкірочки в мийно-очисній машині. За цього способу очищення на сировину роблять комбінований вплив пари під тиском 0,3...0,5 МПа й температури 140...180° С, перепаду тисків під час виходу з апарата, гідравлічного (струменями води) і механічного тертя.

Під впливом обробки парою шкірочка й тонкий поверхневий шар м'якоті (1...2 мм) сировини прогріваються, під дією значного перепаду тисків на виході з апарата шкірочка спучується, лопається й легко відділяється від м'якоті водою в мийно-очисній машині. Кількість відходів і втрат у мийно-очисній машині залежить від глибини проварювання й ступеня розм'якшення підшкірного шару. Установлено, що чим вищий тиск пари, тим менший час обробки, що у свою чергу приводить до значно меншої глибини проварювання підшкірного шару й зменшення втрат цінного продукту.

Швидка обробка дозволяє так змінювати властивості шкірочки, що вона дуже легко відділяється від м'якоті, практично не змінюючи її якості за кольором, смаком і консистенцією. Для кращого збереження натуральних органолептичних властивостей м'якоті й зведення до мінімуму можливих ушкоджень найважливішим є суворе дотримання тривалості обробки сировини.



Паровий спосіб очищення має істотні переваги порівняно з іншими способами. Під час його застосування зменшується кількість відходів і усувається необхідність попереднього калібрування овочів. Картопля й овочі будь-яких форм і розмірів добре очищаються, мають сиру (небланшовану) м'якоть, тому вони добре подрібнюються на коренерізках.

Оброблені паром бульби очищаються від шкірочки в барабанній мийній машині, у яку безупинно подається під тиском холодна вода. У результаті механічного впливу пластин, розташованих на внутрішній поверхні барабана, води й тертя бульб між собою розм'якшена шкірочка знімається й видаляється водою через приймальну лійку в каналізацію. Очищені й охолоджені бульби надходять на подальше оброблення.

*Пароводотермічний спосіб очищення картоплі й коренеплодів.* Суть полягає в гідротермічній обробці (водою й паром) сировини. У результаті такої обробки послаблюються зв'язки між клітинами шкірочки й м'якоттю та створюються сприятливі умови для механічного відділення шкірочки.

Агрегат складається з елеватора, бункера-дозатора з автоматичними вагами, автоклава, що обертається, водяного термостата з похилим транспортером і мийно-очисною машиною.

Теплову обробку (бланшування) сировини проводять в автоклаві й термостаті, водяну – частково в автоклаві (під дією конденсату, що утворюється), а в основному в термостаті й мийно-очисній машині; механічна обробка здійснюється за рахунок тертя бульб або коренеплодів між собою в автоклаві й мийно-очисній машині.

Пароводотермічна обробка сировини призводить до фізико-хімічних і структурно-механічних змін сировини: клейстеризації крохмалю, коагуляції білкових речовин, часткового руйнування вітамінів та ін. За пароводотермічного способу відбувається розм'якшення тканини, збільшується водо- і паропроникність клітинних оболонок, форма клітин наближається до кулястої, унаслідок чого збільшується міжклітинний простір.

Обробку сировини в пароводотермічних агрегатах здійснюють у такій послідовності. Бульби або коренеплоди обробляють паром в автоклаві, потім їх вивантажують у термостатну ванну, де витримують протягом певного часу в нагрітій воді, після цього похилим елеватором направляють у мийно-очисну машину для очищення від шкірочки й охолодження.

Завантажену в автоклав сировину обробляють у чотири етапи: нагрівання, бланшування, попереднє й остаточне доведення. Ці етапи відрізняються між собою параметрами пари (тиск), тривалістю обертання автоклава й регулюються спеціальними вентилями.

Режими пароводотермічної обробки моркви, буряка й картоплі встановлюють залежно від калібру сировини. Коренеплоди або картопля, оброблені в автоклаві за відповідним режимом, повинні бути повністю пробланшовані. Ознаками гарного бланшування є відсутність твердої серцевини й вільне відділення шкірочки під час натискання на них долонею. Проте необхідно стежити за тим, щоб товщина провареного підшкірного шару м'якоті тканини не перевищувала 1 мм, тому що зайве розварювання збільшує

кількість відходів. Не можна також допускати, щоб коренеплоди або бульби виходили з автоклава повністю очищеними. Це спостерігається в разі зайвого їх розварювання або стирання в результаті занадто жорсткого режиму обробки.

Після парової обробки в автоклаві сировину піддають обробці нагрітою водою в термостаті для досягнення рівномірної провареності всіх шарів по перетину бульби або коренеплоду. Перед вивантаженням сировини з автоклава перевіряють температуру води в термостаті й доводять її до 75° С.

Тривалість витримування обробленої порою сировини в термостаті залежить від її виду й калібру та становить для картоплі й буряка великого розміру 15 хв, моркви великого розміру, буряка й картоплі середнього розміру – 10 хв, картоплі дрібного й моркви середнього розміру – 5 хв. Термостат розвантажують швидше або повільніше залежно від продуктивності устаткування на наступних технологічних операціях.

Продуктивність похилого елеватора водяного термостата можна змінювати за допомогою варіатора швидкості й забезпечувати цим безперервність процесу.

Відділення шкірочки від пробланшованих коренеплодів або бульб відбувається в мийно-очисній машині. Для їх охолодження після мийно-очисної машини користуються душем.

Продуктивність пароводотермічного агрегату залежить від виду сировини, що переробляється, і її розміру. Під час обробки картоплі середнього калібру продуктивність агрегату становить 1,65 т/год, буряка – 0,8 і моркви – 1,1 т/год.

Для покращення й прискорення очищення моркви застосовують комбіновану обробку з додаванням у термостат лужного розчину у вигляді гашеного вапна з розрахунку 750 г Ca(OH)<sub>2</sub> на 100 л води (0,75%).

Кількість відходів і втрат залежить від сорту сировини, її розмірів, якості, тривалості зберігання й ін. У середньому кількість відходів і втрат під час пароводотермічної обробки становить: картоплі 30...40%, моркви 22...25%, буряка 20...25%.

Пароводотермічний спосіб бланшування й очищення знайшов широке поширення під час сушіння моркви й буряка, тому що дає невеликий відсоток відходів.

До недоліків пароводотермічного способу належать більші втрати й відходи картоплі та неможливість використати їх для виробництва крохмалю. Відходи картоплі після пароводотермічного очищення використовуються на корм худобі в рідкому, згущеному або сухому вигляді.

*Хімічний (лужний) спосіб очищення.* Цей спосіб знайшов також широке поширення.

Лужне очищення менше руйнує поверхню овочів, ніж механічне. Цим способом користуються для очищення овочів із витягнутою формою або зморщеною поверхнею, тому що відходи за цього способу мінімальні; лужне очищення легше піддається механізації, і капітальні витрати на це менші, ніж за інших способів.

Недоліками хімічного очищення є необхідність точного й постійного контролю режимів обробки, забруднення стічних вод відпрацьованим лужним розчином і відносно висока витрата води.

Під час лужного (хімічного) очищення овочі, картоплю й деякі фрукти та ягоди (сливу, виноград) обробляють нагрітими розчинами лугів. Для очищення використовують переважно розчини їдкого натру (каустичної соди), рідше – їдкого калію або негашеного вапна.

Сировина, призначена для очищення, занурюється в киплячий лужний розчин. У процесі обробки протопектин шкірки піддається розщепленню, зв'язок шкірки з клітинами м'якоті порушується й вона легко відділяється та змивається водою в мийній машині. Використання лугу забезпечує гарну якість очищення й підвищення продуктивності праці на доочищення; крім того, порівняно з механічним і пароводотермічним очищенням кількість відходів зменшується.

Тривалість обробки сировини лужним розчином залежить від температури розчину та його концентрації. Під час обробки картоплі, крім перерахованих чинників, істотне значення мають сорт і тривалість її переробки (у свіжозібраному вигляді або після зберігання).

У табл. 6.2 наведено оптимальні режими лужного очищення картоплі.

Таблиця 6.2 – Режими лужного очищення картоплі

Параметр	Режим обробки	
	із вересня по грудень	із січня по липень
Концентрація розчину лугу, %	6...7,5	8...12,5
Температура розчину, °С	90	90...95
Тривалість обробки розчином лугу, хв	5...5,5	4,5...6,5
Середня кількість відходів, %		
– під час очищення	15	20
– під час доочищення	5	5
Витрати кристалічного лугу на 1 т сировини	7	8

Після обробки картоплі лугом шкірка змивається з неї в щіткових, роторних або барабанних мийних машинах протягом 2...4 хв водою під тиском 0,6...0,8 Мпа.

Лужний спосіб очищення овочів і плодів застосовується на багатьох консервних і овочесушильних заводах. Як правило, для лужного очищення використовуються установки барабанного типу.

Барабанна установка являє собою барабан великого діаметра, розділений на окремі камери сегментами з перфорованих металевих аркушів. Коли барабан робить обертальний рух, камери по черзі проходять через нагрітий лужний розчин. Потім кожна камера піднімається нагору й, коли обмежуючі його металеві пластини займають відповідне положення, продукт, що обробляється, зісковзує в розвантажувальну лійку. Об'єм ванни, де перебуває лужний розчин,

2...3 м<sup>3</sup>. Тривалість проходження продукту через ванну можна змінювати в межах від 1 до 15 хв. Оскільки пара під час безпосереднього зіткнення з розчином розріджує його, установка зазвичай забезпечується нагрівальною системою із закритими паровими трубами.

Підтримка температури робочого лужного розчину на заданому рівні забезпечується наявністю спеціальної місткості, оснащеної окремим нагрівачем, через який постійно проходить робочий розчин. Одночасно з підігріванням під час рециркуляції здійснюється фільтрація розчину від залишків, що потрапили в нього, шкірочок і великих частинок бруду.

У сучасних установках для лужного очищення овочів від шкірочки регулювання й контроль температури та концентрації розчину лугу виконується автоматично.

Лужне очищення особливо ефективно для білих коренів і хрону. Режим обробки цієї сировини наведено в табл. 6.3.

**Таблиця 6.3 – Режими лужного очищення білих коренів і хрону**

Сировина	Концентрація лугу, %	Температура розчину, °С	Тривалість обробки, хв
Пастернак	5	85	4
Петрушка	3	85	5
Селера	6	85	5
Хрін	8	100	2

Лужній обробці піддають також сливи й інші кісточкові плоди та виноград, щоб видалити з їх поверхні восковий наліт для прискорення процесу сушіння.

Для зменшення витрат лугу й води, необхідної для його змиву, застосовують змочувачі (поверхнево-активні речовини, що знижують поверхневий натяг лужного розчину та забезпечують більш тісний контакт між сировиною й розчином).

Для забезпечення найбільш тісного контакту лужного розчину з поверхнею овочів і полегшення наступного відмивання лугу в робочий розчин додають 0,05% додецилбензолсульфоната натрію (поверхнево-активна речовина). Застосування змочувача дозволяє знизити концентрацію лужного розчину в 2 рази й скоротити відходи сировини під час очищення.

У табл. 6.4 наведено технологічний режим і кількість відходів, що одержують під час лужного очищення овочів за наявності змочувача й без нього.

Якість очищення картоплі й кількість одержуваних відходів залежать від способу очищення, сорту, кондиційності й тривалості зберігання сировини, а також від конструктивних особливостей устаткування, що застосовується.

Таблиця 6.4 – Режими лужного очищення за наявності змочувача

Сировина	Розчин лугу			Кількість відходів, %	
	Концентрація, %	Температура, °С	Тривалість обробки, хв	зі змочувачем	без змочувача
Морква	2,5	85	4	20	23,0
Петрушка	1,5	85	5	13	23,5
Пастернак	3,0	85	4	14,8	23,8
Селера	3,0	85	5	13,5	25,7

*Механічний спосіб очищення.* Механічним шляхом очищають овочі й картоплю від шкірочки, а також видаляють неїстівні або ушкоджені органи й тканини овочів і фруктів, витягають насінні камери або кісточки у фруктів, висвердлюють качан у капусти, зрізають денця й шийки в цибулі, видаляють листяну частину й тонкі корінці в коренеплодів, дочищають картоплю й коренеплоди (ножами після очищення машинами).

Видалення шкірочки механічним способом засновано на стиранні її жорсткуватими поверхнями, переважно абразивними (наждаковими). Цим способом можна очищати картоплю, моркву, буряк, білі коріння, цибулю, тобто сировину, що має грубу шкірочку й щільну м'якоть. Одночасно зі шкірочкою в картоплі видаляють також вічка й частини бульби з різними дефектами.

Чищення овочів і картоплі методом стирання шкірочки проводиться на машинах періодичної або безперервної дії за безперервної подачі в них води для змивання й видалення відходів. Дотепер на багатьох овочесушильних заводах широко використовуються механічні абразивні картоплеовочистки періодичної дії. Існує багато типів цих машин.

На плодоовочевих переробних підприємствах найбільше поширення мають картоплекоренечистки марки КЧК.



Рисунок 6.14 – Загальний вигляд картоплекоренечистки періодичної дії

Робочим органом цієї машини є обертовий у нерухомому циліндрі чавунний диск із хвилеподібною поверхнею. Диск і внутрішня поверхня циліндра покриті абразивним (наждаковим) матеріалом.

Зверху над робочим циліндром встановлена завантажувальна лійка. Циліндр має люк для виходу очищеного продукту, що закривається під час роботи машини заслінкою зі спеціальним замком і рукояткою. У внутрішній частині циліндра є трубопровід, що подає через сопла воду для промивання очищеної сировини. Брудна вода разом із відходами видаляється через зливальну трубу в нижній частині циліндра.

Сировина після миття й калібрування подається періодично через завантажувальну лійку в циліндр. Очищення відбувається завдяки тертю сировини об внутрішню поверхню циліндра й диска під дією відцентрової сили, що розвивається диском під час його обертання. Машина від очищеного продукту розвантажується без зупинки через бічний люк і лотік при відкритій заслінці. Продуктивність машини 400...500 кг/год.

Якість очищення й кількість одержуваних відходів залежать від сорту, кондицій, тривалості зберігання сировини й інших чинників. Гарне очищення за низького відсотка відходів досягається тоді, коли сировина, що очищується, ретельно відкалібрована, бульби або коренеплоди не проросли, не зав'язали й зберегли пружність. У середньому кількість відходів під час очищення становить 35...38%.

Циліндричні абразивні картоплекоренечистки відрізняються простотою будови й дешевизною. Проте вони мають істотні недоліки: періодичність дії, ручне відкривання й закривання люків для вивантаження сировини, ушкодження м'якоті, підвищені відходи сировини.

Автоматизована абразивна картоплекистка періодичної дії працює наступним чином.

Перед картоплекисткою розташований бункер, що накопичує задану порцію картоплі. Після наповнення бункера автоматично вимикається елеватор, що подає картоплю, бункер відкривається, і картопля висипається в картоплекистку, де вона очищається протягом часу, заданого за встановленим режимом. Потім дверцята картоплекистки автоматично відкриваються, і в картоплекистку надходить нова порція сировини. При цьому забезпечується оптимальне завантаження, виключається стирання бульб і точно дотримується тривалість очищення. Очищена картопля надходить на доочищення. Продуктивність картоплекистки 1350 кг/год.

На деяких заводах експлуатується абразивна картоплекистка безперервної дії марки КНА-600М.

Робочими органами цієї машини є 20 очисних абразивних роликів, надягнутих на обертові вали. Обертові ролики в зібраному вигляді утворюють хвилясту поверхню й ділять машину на чотири секції. Над кожною із секцій, відділеної від іншої поперечною перегородкою, встановлений душ.

Машина відрізняється від картоплекистки періодичної дії не лише безперервністю роботи, але й принципом впливу абразивної поверхні на бульби, що очищуються, або коренеплоди. Сировина рухається по роликах у воді й проробляє зигзагоподібний шлях від входу до виходу. Унаслідок плавного руху й безперервного зрошення удари бульб об стінки машини послаблюються. Шкірочка знімається роликками у вигляді тонких лусочок без

стирання значного шару м'якоті. Відкалібрована картопля безперервним потоком завантажується в бункер машини й потрапляє в першу секцію на швидкообертові абразивні валики, що очищають із бульб шкірочку. Під час обертання навколо своєї осі бульби просуваються уздовж машини, піднімаються по хвилястій поверхні роликів, наштовхуються на перегородки й потрапляють назад у западину секції. За такого руху бульби поступово просуваються уздовж роликів до розвантажувального вікна, підтискаються вступником картоплею й потрапляють у другу секцію, де роблять такий самий шлях по ширині машини. Після проходження чотирьох секцій очищені й обмиті під душем бульби підходять до розвантажувального вікна й потрапляють у лотік.

Тривалість перебування бульб у машині або ступінь очищення їх регулюють, змінюючи ширину вікна в перегородках, висоту підйому заслінки в розвантажувальному вікні й кут нахилу машини до горизонталі. Під час нормального очищення картоплі тривалість перебування бульб у машині 3...4 хв.

Досвід експлуатації машин КНА-600М свідчить про переваги їх над абразивними коренечистками періодичної дії. Ці машини працюють безупинно, їх можна включати в потокові механізовані лінії, у них знижений відхід сировини на 15...20%, менше ушкодження зовнішніх клітин і більш гладка поверхня очищеної картоплі, зберігається первісна форма бульб. Тривалість перебування очищеної сировини в машині можна регулювати. Продуктивність КНА-600М 1600 кг/год за сировиною.

Під час механічного очищення картоплі й деяких овочів має місце руйнування абразивною поверхнею зовнішнього шару бульб. Це призводить до швидкого й інтенсивного потемніння очищеної сировини на повітрі.

Для запобігання контакту поверхні бульби з киснем повітря картоплю після очищення занурюють у воду. Наступні операції (доочищення й різання) необхідно проводити за інтенсивного змочування поверхні бульб водою.

Для очищення застосовуються також очищувально-мийні машини, у яких органами, що труть, є рифлені гумові ролики. Змивання шкірочки здійснюється водою, що подається із сопел під тиском 1...1,2 МПа. Такий великий тиск води сприяє кращому очищенню овочів і картоплі.

Очищувально-мийні машини барабанного й роликівого типів широко використовуються для очищення сировини, що попередньо оброблена парою, лугом, гарячою водою або ін. Очищувально-мийні машини входять у комплекс електро- і паротермічних агрегатів і установок для лужного очищення картоплі, буряка, моркви, цибулі й деяких плодів (персиків, яблук). Вони завершують процес очищення під час застосування комбінованих способів видалення шкірочки. Якість очищення й кількість відходів сировини на цих машинах залежать від діаметра й довжини барабана, частоти обертання й заповнення барабана, а також від температури й рівня води у ванні.

За конструкцією й принципом дії ці машини аналогічні барабанним мийним машинам.

Очищення овочів поліпшується за умови збільшення часу перебування їх у машині, підвищення температури води й зменшення її рівня у ванні. Але при цьому зменшується продуктивність машини й збільшується кількість відходів. Тому для кожного виду оброблюваної сировини розробляються свої оптимальні режими обробки, що забезпечують гарне очищення, максимальну продуктивність за мінімальної кількості відходів.

Під час механічного очищення картоплі відходи, що одержують, використовують для виробництва крохмалю.

На деяких овочесушильних заводах застосовується глибоке механічне очищення картоплі з видаленням великого шару м'якоті бульб із поглибленнями й вічками, що підвищує продуктивність праці на доочищення й зменшує майже в 2 рази витрати праці на цю операцію. Проте кількість відходів за рахунок зняття цінного підшкірного шару зростає до 55%. Глибоке механічне очищення можна проводити тільки за відсутності в достатній кількості робочої сили й повного використання відходів для одержання харчового крохмалю.

Картопля після тривалого зберігання очищається гірше й кількість відходів зростає. Порівнюючи різні способи очищення, необхідно відзначити, що найменша кількість відходів отримується за лужного й парового способів очищення.

Очищення цибулі, яке полягає в обрізанні верхньої загостреної шийки, нижнього кореневого денця (кореневої мички) і знятті лушпиння, досить трудомістка технологічна операція. На деяких підприємствах овочесушильної промисловості під час очищення цибулі шийку й дінця обрізають уручну, а лушпиння знімається в пневмоцибулеочистках. Машина складається з циліндричної очисної камери, дно якої зроблене у вигляді обертового диска із хвилястою поверхнею. У цибулин попередньо обрізають шийку й денця. Через бункер їх подають у дозатор, звідки через кожні 40...50 с порція 6...8 кг надходить в очисну камеру. Під час обертання дна й удару об нього й стінки шкірочка відділяється від цибулин і стисненим повітрям із барботера виноситься в циклон, а очищена цибуля вивантажується через дверцята, що відкриваються автоматично. За цикл очищення (40...50 с) повністю очищається до 85% цибулин.

Витрати праці на очищення цибулі в цій машині знижуються майже вдвічі порівняно з ручним очищенням, продуктивність пневмоцибулеочистки до 500 кг/год. У цій машині можна очищати лише суху цибулю, вологі цибулини доводиться дочищати вручну.

Пневмоцибулеочистка може працювати у вологому режимі, тобто розірвані під час обертання й тертя об жорсткувану поверхню диска й стінок циліндра цибулини, лушпиння видаляються не стисненим повітрям, а водою, що подається під тиском.

На деяких овочесушильних заводах експлуатується універсальна лінія для підготовки й сушіння цибулі. Лінія складається з машин для підготовки цибулі до сушіння, сушарки й устаткування з обробки сушеної цибулі. Лінія



забезпечує виробництво сушеної цибулі, нарізаної кільцями, дробленої (розмір частинок від 4 до 20 мм) і цибульного порошку.

Для очищення часнику від шкірочки використовують машини типу А9-КЧП.

Машина безперервної дії складається із завантажувального бункера, вузла очищення (робочої камери з дозаторами), пристрою для відведення й збирання шкірочки й виносного інспекційного транспортера. Продуктивність 50 кг/год.

Під час обертання дозаторів і робочих камер навколо порожнього вертикального вала відбуваються відділення порції сировини (дві-чотири голівки) і подача її в робочу камеру, після чого стиснене повітря через трубу, порожній вал і сполучну трубу з великою швидкістю вводиться в камеру.

Робоча камера – це відкритий зверху й знизу циліндр. Корпус її відлитий з алюмінію, усередині є вставка з корозієстійкої сталі. У корпусі й вставці зроблені зміщені отвори для проходу повітря. Камера перебуває між двома нерухомими дисками.

Час перебування порції часнику в камері 10...12 с, із них 8 с відводиться власне на очищення, коли в камеру подається стиснене повітря. Інший час необхідний для вивантаження очищеного часнику з камери. Після цього камера, продовжуючи рухатися, знову проходить під суцільною частиною диска, відбувається завантаження нової порції сировини і цикл повторюється.

Тривалість очищення регулюється шляхом зміни частоти обертання ротора за рахунок заміни шківів на клинопасовій передачі між електродвигуном і редуктором.

Знята шкірочка потоком повітря від вентилятора переміщається по каналу до збірника з тканини, а очищений часник через отвір у нерухомому диску, розміщеному під робочими камерами, виводиться на інспекційний транспортер.

Продуктивність під час ручного завантаження 30...35 кг/год, під час машинного – 50 кг/год. Кількість повністю очищених зубків становить 80...84% сировини, що обробляється. Зубки із залишками шкірочки, відібрані під час інспектування, можуть бути піддані повторному очищенню.

*Комбінований спосіб очищення.* За цього способу передбачається поєднання двох чинників, що впливають на сировину, що обробляється, (лужного розчину й пари, лужного розчину й механічного очищення, лужного розчину й інфрачервоного обігрівання та ін.).

За лужно-парового способу очищення картоплю піддають комбінованій обробці лужним розчином і парою в апаратах, що працюють під тиском або за атмосферного тиску. При цьому застосовують більш слабкі лужні розчини (5%), у зв'язку з чим різко знижується витрата лугу на 1 т сировини й зменшується кількість відходів порівняно з лужним способом.

Під час використання методів абразивного й лужного очищення оброблену в слабкому лужному розчині сировину піддають короткочасному очищенню в машинах з абразивною поверхнею. Час обробки залежить від виду й сорту сировини та тривалості її зберігання.

Комбінування лужної обробки картоплі з інфрачервоним опроміненням і наступним механічним очищенням від шкірочки відбувається таким способом.

Бульби занурюють у розчин лугу концентрацією 7...15%, нагрітий до 77° С, на 30...90 с. Замість занурення можлива обробка струменем розчину лугу. Після стікання зайвого розчину картоплю направляють у перфорований обертовий барабан, де вона піддається інфрачервоному обігріванню за температури 871...897° С (джерело тепла – газові пальники).

Термічну обробку бульб можна також здійснювати на транспортері, розташованому під джерелом інфрачервоних променів. Транспортер обладнують вібраторами або іншими пристроями, що забезпечують перекидання бульб.

У процесі теплової обробки відбувається випаровування води зі шкірочки бульби, і концентрація лужного розчину, що перебуває в поверхневому шарі, збільшується. Завдяки цьому дія лугу в тонкому шарі підсилюється й створюються сприятливі умови для подальшого механічного видалення шкірочки.

Після термообробки бульби направляють в очисну машину з гофрованими гумовими валиками. Кінцеве очищення проводиться в щіткових мийних машинах. Після очищення картоплю занурюють в 1%-ий розчин соляної кислоти для нейтралізації лугу, а потім направляють на подальше перероблення. Відходи за цього способу очищення становлять 7...10%, витрати води в 4...5 разів менші, ніж лише під час лужного очищення.

*Доочищення.* Сировину після очищення направляють на інспектування й доочищення. Під час виконання цих операцій уручну в коренеплідів і картоплі видаляють залишки шкірочки, хворі, ушкоджені й підгнилі місця, вічка в картоплі, бадилля в моркви й буряка, шийки й дінця в цибулин. На овочесушальних заводах доочищення картоплі й овочів проводять на спеціальних стрічкових транспортерах.

Ручне доочищення – дуже трудомістка операція. Особливо великі витрати на доочищення картоплі й овочів під час переробки некондиційної сировини.

Найчастіше доочищення сировини проводять на стрічкових конвеєрах, розділених поздовжніми перегородками на три частини: по крайнім сировина подається на доочищення, по середній рухається доочищений продукт. Ширина стрічки транспортера 0,75...0,8 м, висота 0,75 м. Відходи видаляються гідротранспортером або зворотним ходом стрічки транспортера доочищення. Швидкість руху транспортера доочищення 0,1...0,2 м/с. Уздовж стрічки транспортера по обидва боки розташовані робочі місця.

За механічного способу очищення картоплі руйнується велика кількість клітин, у результаті чого на поверхні бульби виділяється деяка частина крохмалю, вільних амінокислот, ферментів, мінеральних солей та інших легко окиснюваних речовин. Створюються сприятливі умови для взаємодії їх із киснем повітря під час дії окисних ферментів як каталізаторів, у результаті чого поверхня бульб стає рожевою, а потім темніє.

Для запобігання цього картоплю після очищення занурюють у воду, а доочищення й різання проводять за інтенсивного змочування бульб водою. Тому на заводах, де застосовується механічний спосіб очищення, конвеєр

доочищення обладнують спеціальними ванночками з водою, де зберігають очищену картоплю.

*Різання.* Картоплю, овочі й фрукти під час підготовки до сушіння ріжуть на шматочки різних розмірів і форми: стовпчики, кружки, частинки, стружку, кубики й пластинки. Форма й розмір шматочків суттєво впливають на швидкість сушіння, а отже, на продуктивність сушильної установки.

Зі зменшенням товщини шматочків продукту скорочується тривалість зневоднювання й прискорюється час відновлення сушеного продукту під час його кулінарної обробки. Інтенсифікація процесу сушіння сприяє поліпшенню якості сушеного продукту й зниженню втрат вітамінів та інших цінних поживних речовин. Проте товщина шматочка може бути зменшена до певної величини (3 мм для картоплі й 2 мм для овочів), оскільки різання на більш тонкі шматочки призводить до утворення великої кількості крихти. Рекомендується картоплю різати на стовпчики перерізом 3x5 мм і довжиною не менш 10 мм, на кубики з розміром граней 5...9 мм і на пластинки товщиною не більше 4 мм, довжиною й шириною 9...12 мм.

Перевагу віддають сушеним овочам і картоплі, нарізаним у вигляді кубиків і пластинок, оскільки такий продукт має більшу насипну масу, рівномірно змішується в супових сумішах, добре дозується в м'яке упакування на автоматах і має більш привабливий вигляд у готовій страві.

Якість роботи різальної машини характеризується ступенем подрібнювання сировини, кількістю одержуваної крихти (дріб'язку), однорідністю шматочків за товщиною й шириною. Вміст дріб'язку в нарізаній сировині не повинен перевищувати 5...8%. Підвищений вміст крихти погіршує умови сушіння й призводить до зайвих втрат, тому що при цьому зменшується вихід стандартного сушеного продукту й збільшується витрата сировини.

Нерівномірне різання по ширині й товщині, наявність злиплених або неповністю розрізаних частинок також неприпустимі, тому що порушується правильний режим сушіння, продукт нерівномірно зневоднюється, у результаті чого потрібна витрата додаткової праці на сортування й досушування великих шматочків, що виходять із сушарки з підвищеною вологістю. Поверхня зрізу повинна бути рівною, гладкою. При цьому клітини сировини руйнуються менше й втрати нутрієнтів також значно менші. Тому своєчасне заточення ножів для різання – необхідне.

Якість різання залежить від конструктивних особливостей машини й режиму її експлуатації, а також від виду продукту та його стану. Чим твердіша м'якоть картоплі, коренеплодів або чим щільніші качани капусти, тим краще вони ріжуться. Переспілі яблука дають під час різання більше дріб'язку, ніж яблука в стадії технічної зрілості. Картопля, бланшована в цілому вигляді, гірше ріжеться, ніж сира.

За конструкцією різальних органів (ножів) різальні машини, які застосовуються в овочесушильній промисловості, можна розділити на такі основні групи:

– дискові коренерізки, у яких різальні ножі закріплюються на диску й під час роботи машини роблять круговий рух;

– машини з ножами, закріпленими в каретці або іншому пристрої, що робить зворотно-поступальний рух і розрізає продукт пошарово;

– комбіновані коренерізки, у яких є дві групи ножів і більше. У цих машин одна група ножів зазвичай рухається по колу, а інша, нерухома, перебуває у зворотно-поступальному русі, причому леза обох груп ножів розташовуються, як правило, у взаємно перпендикулярних площинах. На комбінованих машинах овочі розрізаються на тонку стружку й кубики.

Найбільше поширення в овочесушильній і плодOPEREROBній промисловості одержали різальні машини першої та третьої груп.

*Дискові овочерізки* використовують для подрібнювання капусти, цибулі, коренеплодів, картоплі, яблук, зелені й ін.

Форма й розміри шматочків, що одержуються на дискових коренерізках, залежать від виду сировини, а також від типу ножів і їх комбінацій.



**Рисунок 6.15 – Загальний вигляд дискової овочерізки**

Овочерізку, що має обертовий диск із установленими на ньому серпоподібними ножами, прийнято називати шинкувальною машиною. Вона призначена для шинкування капусти на смужки шириною близько 3 мм. Ці машини можна використовувати також для різання картоплі, моркви, буряка, ріпчастої цибулі, яблук та іншої сировини на плоскі скибочки (кружечки).

Робочим органом у шинкувальних машин є плоскі сталеві серпоподібні ножі, закріплені гвинтами на чавунному диску з прорізами для виходу нарізаного продукту. Шинкувальні машини бувають із вертикальним розташуванням робочого диска (вертикальні) і з горизонтальним (горизонтальні).

За числом ножів дискові шинкувальні машини бувають три-, чотири-, семи- та одинадцятиножеві.

На великих переробних підприємствах застосовують одинадцятиножеві машини продуктивністю до 3 т/год. Дискові машини (овочерізки), призначені для подрібнювання картоплі й коренеплодів на кружки або стовпчики, за принципом дії подібні до шинкувальних машин, тобто робочим органом у них є

закріплені на диску плоскі ножі. Коренерізки на робочих дисках зазвичай мають два, три або чотири плоских ножі з лезами прямої або серпоподібної форми.

Для одержання стовпчиків перед лезами горизонтальних ножів на диску встановлюють додатково поперечно різальні гребінки – сталеві пластини, у яких на рівній відстані одне від одного закріплені тонкі леза. Товщина стовпчика залежить від висоти цих лез, а ширина – від відстані між ними. Залежно від розташування диска в корпусі розрізняють коренерізки вертикальні й горизонтальні.

*Машини з ножами, закріпленими в каретці.* До цих машин належить коренерізка КР-1. Її встановлюють на заводах, де для підготовки застосовується пароводотермічний спосіб.

Коренерізка КР-1 складається з бункера й каретки з різальним механізмом, що являє собою набір із п'яти ножів, закріплених у касеті. Касету вставляють у каретку, що робить зворотно-поступальний рух по ширині сушарки.

Різальний механізм має довжину, рівну ширині парової конвеєрної сушарки (2 м), що забезпечує рівномірне настелення шматочків продукту на завантажувальну стрічку. Дозування нарізаного продукту під час завантаження сушильної установки регулюється зміною числа коливань каретки. Для різання на кружки в касету встановлюють лише плоскі ножі.

*Комбіновані коренерізки* забезпечують різання картоплі й овочів на кубики, пластинки, стовпчики й кружки.

Принцип роботи полягає в наступному. Із бункера овочі надходять у барабан, під час обертання якого вони потрапляють на пластинки й, зустрічаючи на своєму шляху нерухомий плоский ніж, розрізаються на кружки. Проходячи через щілину між плоским ножем і регулюючою планкою, кружки потрапляють на обертіві дискові ножі, якими розрізаються на стовпчики, а стовпчики у свою чергу розрізаються поперечно-обертівими вигнутими ножами на кубики або пластинки.

#### *6.3.4. Бланшування та хімічна обробка сировини*

*Бланшування.* Процес бланшування перед сушінням являє собою нетривалу теплову обробку овочів, картоплі й фруктів до напівготовності з наступним охолодженням холодною водою.

Тепловий вплив на сировину різко змінює всі її властивості. Інтенсивність змін властивостей тканини залежить від виду сировини, ступеня її попереднього подрібнювання й характеру теплового впливу (тривалості, температури, тиску). Під впливом теплоти колоїдний стан рослинної тканини змінюється. Зміна колоїдного стану приводить до того, що тканина, яка бланшується, стає більш м'якою, клітини її набухають і витісняють повітря з міжклітинного простору, протоплазма згортається й відділяється від клітинних оболонок, які стають більш проникними.

Це сприяє кращій віддачі вологи під час сушіння й кращому відновленню сушених овочів, картоплі й фруктів під час приготування з них кулінарних страв. Крім того, завдяки бланшуванню зменшується гігроскопічність сушених овочів і фруктів, а також інактивуються їх окисні ферменти. Тому бланшування сприяє кращому збереженню сушеної продукції.

Під час бланшування частково, головним чином із поверхні, знищуються мікроорганізми (цвілі, дріжджі), зменшується об'єм сировини, змінюється пружність тканин. Проте бланшовані овочі й фрукти не повинні бути занадто м'якими, збереження ними первісної форми є обов'язковою умовою.

Таким чином, бланшування – це відповідальна технологічна операція, від правильності проведення якої залежать якість і харчова цінність готового продукту, а також розмір втрат сировини.

Бланшування овочів, картоплі й деяких видів фруктів істотно змінює їх фізико-хімічні властивості. Характер та інтенсивність цих змін залежать від виду сировини, її хімічного складу, головним чином від вмісту крохмалю й інших високомолекулярних вуглеводів, білкових речовин і води, а також від способу бланшування й стану продукту (цілі плоди або шматочки).

Так, теплова обробка картоплі приводить до клейстеризації крохмалю й інших змін, які сприяють прискоренню сушіння й поліпшенню кулінарних властивостей сушених продуктів.

Під час бланшування сировини, збагаченої білком, наприклад, зеленого горошку, відбувається денатурація (згортання) його в результаті нагрівання, створюються сприятливі умови для швидкого зневоднювання, проте при цьому висушені продукти характеризуються більш тривалим часом відновлення під час кулінарної обробки.

Бланшування більшості овочів, у яких переважними складовими речовинами є вуглеводи, теж приводить до прискорення процесу сушіння завдяки розпушенню тканин й збільшенню пористості в результаті гідролізу пектинових речовин.

Під час бланшування фруктів, покритих восковим нальотом, наприклад, слив, досягається не тільки закріплення кольору, але й звільнення шкірочки від воскового нальоту та утворення на поверхні дрібних тріщин у вигляді сітки. Завдяки цьому поліпшується тепло- і вологообмін між продуктом і сушильним агентом (нагрітим повітрям), що приводить до прискорення процесу зневоднювання, усуває розтріскування плодів і витікання під час сушіння, поліпшує відновлюваність готового продукту.

Бланшування забарвлених овочів (буряк, морква, зелений горошок та ін.) і кісточкових плодів (слив, абрикосів, персиків) є засобом закріплення їх натурального кольору, запобігає бурінню або знебарвленню барвників під час підготовки, сушіння й зберігання (у зв'язку з їх окиснюванням).

Важливим завданням бланшування в овочесушильному виробництві є інактивація ферментів, що містяться у свіжих овочах, картоплі й фруктах.

Під час сушіння сировини особливе значення мають окиснювально-відновні ферменти. Ці ферменти каталізують окиснювання поліфенолів, амінів і деяких амінокислот з утворенням з'єднань, що мають темне забарвлення.

Червонуватий колір очищеної сирої картоплі, характерний для початкової стадії потемніння її на повітрі (або під час тривалого зберігання у воді), а також почорніння її під час тривалого знаходження на повітрі викликані дією зазначених ферментів.

У процесі бланшування овочів і фруктів ці ферменти інактивуються. Найбільш термостійким ферментом овочів і плодів є пероксидаза. Для її інактивації рослинна тканина повинна бути нагріта до температури вище 75° С. Повнота її інактивації залежить також від тривалості теплового впливу. Якісна реакція на активність пероксидази може побічно слугувати показником інактивації всіх інших ферментів. Тому реакція на пероксидазу є загальноприйнятим методом контролю процесу бланшування.

За температури води 97° С повна інактивація пероксидази досягається: у картоплі, нарізаній стовпчиками, – через 3 хв, а в цілих бульбах – через 10...25 хв залежно від їх розміру; у шинкованій капусті за температури в паровій камері 93° С – через 2...3 хв; у зеленому горошку за температури води 92° С – через 3...4 хв.

Під час бланшування картоплі, овочів і фруктів відбуваються й небажані зміни, які призводяться до збідніння їх хімічного складу (особливо під час обробки в киплячій воді), а також часткове руйнування вітамінів, головним чином вітаміну С. Особливо великі втрати під час бланшування шматочків коренеплодів у воді. Тому бланшувати їх рекомендується в цілому вигляді, не очищеними від шкірочки. Бланшовані коренеплоди ріжуть охолодженими, при цьому вони також добре подрібнюються на коренерізках, як і сирі.

Для зменшення втрат сухих речовин рекомендуються бланшувати нарізані шматочки картоплі й овочів парою.

Для бланшування овочів, картоплі й фруктів застосовують теплові апарати різних систем. Бланшування у воді можна проводити в ківшових, скребкових, барабанних та інших бланшувачах, бланшування парою – у стрічкових горизонтальних і похилих апаратах.

*Бланшування у воді.* Ківшовий бланшувач марки КБФ призначений для бланшування різних фруктів (слив, яблук, груш, айви, абрикосів та ін.). Він складається з дерев'яної станини й двох металевих ванн, у яких установлено два сітчастих ковші. У кожній ванні є по одному змійовику для підігріву води. Один зі змійовиків за необхідності може бути відключений, а ванна – використана для охолодження сировини. У верхній частині ванни є труба для наповнення водою, у нижній – кран і труба для спускання води. Щоб перекинути ковші, треба натиснути на важіль.

Сировину завантажують у першу ванну порціями до 16 кг і витримують у киплячій воді протягом установленого часу. Після закінчення бланшування плоди за допомогою важеля перевантажують у другу ванну для охолодження, після чого їх вивантажують на транспортер для подальшого перероблення.

Для бланшування овочів і фруктів у воді можуть бути використані також двостінні казани, дерев'яні ванни, чани тощо. Проте обробка в цих найпростіших апаратах пов'язана з незручностями в роботі, порушує

потоковість виробництва й застосовується, звичайно, на невеликих підприємствах.

Бланшувач тягнучого типу



Бланшувач ковшового типу



Бланшувач ротаційний



Рисунок 6.16 – Загальний вигляд бланшувачів різного типу

Більш досконалішими й зручними апаратами є бланшувачі безперервної дії для обробки цілих або нарізаних овочів і фруктів у воді або насиченій водяній парі.

Ківшовий тунельний бланшувач БК складається з тунелю, ківшового транспортера, каркаса, приводу, паропроводу й водопроводу. Сировину завантажують у ковші, які просуваються через тунель транспортером. Ковші із сировиною занурені в гарячу воду або перебувають під дією пари. Після закінчення процесу ковші виносять бланшований продукт із тунелю й передають його на охолодження. Тривалість бланшування можна регулювати від 2 до 32 хв. Ці апарати в деяких випадках використовують для варіння овочів і картоплі. Продуктивність бланшувача БК від 0,5 до 8 т/год залежно від тривалості теплової обробки.

Барабанний водяний (ротаційний) бланшувач застосовується в основному для бланшування зеленого горошку. Апарат має сітчастий барабан, оснащений для жорсткості каркасом. На одному з торців барабана встановлений завантажувальний бункер, на іншому – розвантажувальний люк.

Барабан обертається за допомогою двох насаджених на нього зубчастих кільцевих рейок і розміщується в нерухомому кожусі, у якому втримується трьома парами роликів. У завантажувальному кінці барабана розташований привідний вал із робочим і холостим шківом. Від нього за допомогою конічних шестірень приводиться в рух допоміжний вал, на якому є дві циліндричні шестірні, що рухають зубчасті рейки барабана. Із боку



завантажувального отвору в барабан підводиться вода, у нижню частину кожуха – пара для нагрівання води.

Продукт, що надійшов через завантажувальний отвір, занурюється в гарячу воду й завдяки наявності спіралі на внутрішній поверхні обертового барабана повільно просувається до протилежного кінця барабана. Перед завантажувальним отвором він обмивається холодною водою й спеціальними лопатами через розвантажувальний отвір виштовхується з барабана.

Тривалість процесу регулюється зміною частоти обертання барабана, продуктивність апарата 2,5...3 т/год.

*Бланшування парою.* На овочесушильних заводах широке поширення одержали парові стрічкові бланшувачі безперервної дії, що працюють без надлишкового тиску. Агентом, що гріє, у них є насичена водяна пара, яку подають в апарат через сопла або барботери. Тепло, необхідне для бланшування, виділяється під час конденсації водяної пари на поверхні шматочків, що обробляються.

Горизонтальний стрічковий паровий бланшувач типу БГЩ являє собою транспортер із сітчастою стрічкою, що проходить через П-подібну парову камеру завдовжки 6 м із барботером над стрічкою й під нею. Сировину бланшують у тонкому шарі (4...7 см), що створює сприятливі умови для рівномірної теплової обробки всіх шматочків. У процесі бланшування шматочки не зминаються. Перевагою бланшувачів стрічкового типу є їхня універсальність. Вони придатні для бланшування не тільки картоплі, але й буряка, моркви, капусти й інших овочів.

Похилі бланшувачі типу БКП-200, БКЛ-400 і КБТ-900 можуть бути використані в комплекті з паровими конвеєрними сушарками відповідно ПКС-20, ПКС-40 і СПК-90. Вони виконують роль завантажувальних транспортерів. Принцип дії їх приблизно однаковий, відрізняються вони між собою продуктивністю й деякими конструктивними особливостями. Найбільше поширення у виробництві мають бланшувачі БКП-400 і КБТ-900.

Бланшувач БКП-400 складається з похилого транспортера, укладеного в камеру, що має три секції: промивну, ошпарювальну й промивно-остуджуючу.

Усередині ошпарювальної камери встановлений паровий барботер, а над промивною й промивно-остуджуючою – перфоровані труби з трьома рядами отворів для подавання холодної води за допомогою душу.

Нарізані овочі або картопля через завантажувальний пристрій подаються в апарат і розміщуються рівним шаром на сітці транспортера. Продукт проходить через першу камеру, де промивається водою, потім у ошпарювальній камері обробляється парою, у третій камері охолоджується під душем і з поверхні шматочків змивається крохмальний клейстер.

Продуктивність бланшувачів БКП-200 і БКП-400 відповідно 200 і 400 кг/год, апарата КБТ-900 – 900 кг/год.

Ці бланшувачі можна застосовувати для бланшування картоплі, капусти, буряка й моркви.

Найбільш перспективні бланшувачі, що є частиною парової стрічкової конвеєрної сушарки, тому що під час їх застосування створюється потоковість

процесів бланшування й сушіння та забезпечується рівномірне завантаження сушильного апарата, що досить важливо для дотримання правильного режиму сушіння.

*Обробка сировини розчинами кислот і солей.* Під час технологічної підготовки картоплі, овочів і фруктів до сушіння, у процесі зневоднювання, а також під час зберігання сушених продуктів може відбуватися їх потемніння.

Для запобігання цього явища картоплю, овочі й фрукти обробляють розчинами сірчистої кислоти або її солей, а також газоподібним сірчистим ангідридом. Обробка сульфідними розчинами сприяє більш повному збереженню вітаміну С у сушеному продукті, збільшує строки зберігання й дозволяє краще зберегти зовнішній вигляд, поживні й органолептичні властивості сушеної продукції.

Картоплю рекомендується обробляти протягом 1...3 хв 0,1%-им розчином бісульфіту натрію ( $\text{NaHSO}_3$ ), що добре розчиняється в холодній воді. Ні сама сіль, ні її розчини не мають запаху, тому обробку бульб можна проводити в цеху на устаткуванні, установленому в технологічній лінії. Після обробки бульби не темніють на повітрі протягом 6...8 год, і їх можна дочищати на конвеєрі без ванночок із водою.

Хімічна промисловість випускає бісульфіт натрію у вигляді 30...36%-ого розчину й порошкоподібної солі – піросульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ). Цю сіль найчастіше використовують у виробництві.

Під час розчинення піросульфату натрію у воді утворюється бісульфіт натрію. Водяний розчин його за температури вище  $65^\circ\text{C}$  розкладається з виділенням сірчистого ангідриду.

Вміст сірчистого ангідриду в картоплі після її обробки незначний. У готових стравах із сушеної картоплі, що оброблялись бісульфітом натрію, сірчистий ангідрид відсутній.

Таким чином, обробка очищених бульб розчином бісульфіту натрію повністю виключає зберігання картоплі у воді в процесі доочищення. Це полегшує умови праці й поліпшує санітарний стан у відділенні доочищення, зменшує витрату води.

Для обробки очищеної картоплі розчином бісульфіту натрію використовують ванни, у які занурюють бульби в сітчастих кошиках, а також елеваторні або роторні мийні машини. Більш зручно проводити сульфитацію в сульфитаторах МСК-63.

Сульфитатор являє собою ванну прямокутної форми, змонтовану на станині. Усередині ванни обертається барабан із 12 відсіками, виготовлений із перфорованої корозієстійкої сталі. У кожен із відсіків через завантажувальний бункер завантажують по 25 кг картоплі. Барабан приводиться в рух від електродвигуна через два черв'ячних редуктори й ланцюгову передачу. Частоту обертання барабана встановлюють залежно від тривалості обробки. Вивантажують картоплю через розвантажувальний лотік. Розчин бісульфіту натрію готують у баку з порошкоподібного піросульфату натрію. Розчин у ванну подається відцентровим насосом. Із бака він надходить по трубопроводу в перше відділення ванни, яке відділене від другого діафрагмою. Якщо рівень

робочого розчину в першому відділенні перевищує встановлену норму, то надлишкова кількість його переливається через діафрагму в друге відділення, звідки розчин відкачують відцентровим насосом у живильний бак. Ванна зверху закрита кришкою.

Продуктивність машини 800 кг/год. За необхідності паспортну продуктивність можна збільшити в 2 рази. У цьому разі тривалість перебування картоплі в машині (від завантаження до вивантаження) становить 3 хв 20 с, у ванні з розчином – близько 2,5 хв, розвантаження одного відсіку барабана триває 15 с. Цей режим відповідає вимогам технології.

Допустима норма залишкового вмісту сірчистого ангідриду в сушених овочах і фруктах повинна бути не більше, (%): у картоплі й моркві – 0,04, у білокачанній капусті – 0,06, у цибулі – 0,05, у яблуках – 0,01 і в абрикосах – 0,02. Вміст сірчистого ангідриду в сушеному продукті залежить від концентрації робочого розчину й тривалості обробки.

Обробка картоплі 0,4...0,45%-им розчином бісульфіту натрію протягом 2 хв забезпечує одержання готового продукту гарної якості із вмістом 0,04% SO<sub>2</sub>. Втрати сухих речовин під час обробки картоплі розчином бісульфіту натрію не перевищують звичайних меж. Спостерігається незначна різниця у вмісті SO<sub>2</sub> у поверхневих і центральних шарах бульб. Під час наступних процесів – різання й сушіння – кількість SO<sub>2</sub> у всіх шарах стає однаковою.

За механічного методу підготовки картоплі до сушіння (очищення, різання на стовпчики або кубики з наступним бланшуванням) сушений продукт високої якості одержують за умови інтенсивного обприскування його 0,5%-им розчином бісульфіту натрію.

Залишковий вміст SO<sub>2</sub> у сушеній капусті залежить і від кількості сухих речовин у сировині. Зі збільшенням кількості сухих речовин вміст SO<sub>2</sub> у сушеній капусті зменшується.

На вміст SO<sub>2</sub> також впливає швидкість і рівномірність стікання робочого розчину з сировини. Під час обприскування капусти надлишки розчину стікають швидше, під час занурення її в робочий розчин – повільніше, і напівфабрикат, що одержують, погано настиляється на решітки сушарки.

За органолептичними показниками кращою є сушена капуста, у якій вміст SO<sub>2</sub> становить 0,05...0,06%. Під час кулінарної обробки вона має білий колір, а за смаком і запахом нагадує свіжу.

Сушену цибулю із вмістом не більше 0,05% SO<sub>2</sub> одержують, якщо нарізану сировину обробляють перед сушінням 0,2...0,3%-им розчином бісульфіту натрію, обприскуючи під душем протягом 3 хв або шляхом занурення в розчин на 1...2 хв.

Обробка моркви пароводотермічним способом після бланшування в цілому вигляді шляхом занурення її в 0,2...0,25%-ий розчин бісульфіту натрію на 3 хв забезпечує одержання готового продукту з яскравим оранжево-червоним забарвленням і підвищує його стійкість до потемніння в процесі сушіння й під час наступного зберігання.

Фрукти (яблука, груші, айву, абрикоси й персики) і ягоди зі світлим забарвленням (виноград) перед сушінням також піддають сульфитації для

кращого збереження натурального кольору, вітаміну С і запобігання від ушкодження сільськогосподарськими шкідниками під час зберігання. Для цього, крім обробки розчинами бісульфіту натрію, застосовують сухий спосіб – обкурювання сіркою. Якісна сірка містить не більше 1% домішок. Сірка, що містить у складі домішок більше 0,015% арсену, для обкурювання непридатна.

Обкурювання сировини сухим способом проводиться в спеціально обладнаних камерах або в пристосованих для цього приміщеннях. У камерах ставлять стелажі з підготовленою сировиною або на бічних стінках камер набивають для установа сит стругані рейки на відстані 15...20 см одна від одної за висотою й 50...60 см від рівня підлоги. Сірку спалюють у жаровнях. Сировина обробляється при цьому газоподібним сірчистим ангідридом.

У середньому витрата сірки для обкурювання 1 т подрібненої сировини становить близько 2 кг. Тривалість обкурювання коливається від 10 до 30 хв залежно від виду сировини.

Для обкурювання більших партій сировини раціональніше застосовувати герметичні камери, обладнані транспортером, що безперервно рухається, а обкурювання робити сірчистим ангідридом із балонів.

## **6.4. Технологія сушіння картоплі та овочів**

### *6.4.1. Сушіння картоплі*

Технологічний процес сушіння картоплі складається з попередньої підготовки сировини й зневоднювання (сушіння).

Підготовка картоплі до сушіння включає миття, інспектування, калібрування, очищення й доочищення, різання, бланшування й сульфитацію.

Картоплю підготовляють до сушіння у двох відділеннях овочесушильного цеху: сировинному й підготовчому. На більшості заводів обидва ці відділення розташовані в загальному приміщенні, ізольованому від сушильного відділення перегородкою. У сировинному відділенні картоплю миють, інспектують і калібрують, у підготовчому – проводять усі інші операції.

З овочесховища картопля (або коренеплоди) гідротранспортером надходить на ківшовий елеватор, а потім у малий проміжний бункер і на автоматичні ваги. Із ваг вона направляєється в бункер-накопичувач, а з нього у вібраційну мийну машину.

Із вібраційної мийної машини вимита картопля надходить на скребковий транспортер, що подає її через турнікети в парову очисну машину, де вона обробляється парою за тиску 0,35...0,42 МПа протягом 60...70 с (морква за тиску 0,3...0,35 МПа протягом 40...50 с і буряк – 90 с). Після цього картопля надходить у барабанну мийно-очисну машину, куди подається вода під тиском 0,3...0,5 МПа. Тривалість витримування в ній овочів регулюється кутом нахилу барабана. Кількість повністю очищених овочів становить 97...99%.

Використання вібраційної мийної машини й застосування парового очищення, за якого не потрібно каліброваної станції, дозволяють створити

компактний вузол попередньої підготовки картоплі до сушіння, значно скоротити встановлену потужність електродвигунів і займану виробничу площу.

Очищена картопля з барабанної мийно-очисної машини надходить у сульфідатор, де обробляється 0,1%-им розчином бісульфіту натрію протягом 2 хв, а потім висипається на стрічку конвеєра доочищення (очищені морква й буряк безпосередньо надходять на доочищення).

Стрічка конвеєра доочищення шириною 750 мм розділена металевими планками на чотири частини. По крайніх частинах стрічки рухається сировина, яку необхідно доочистити, а по середній – доочищене вручну. По обидва боки конвеєр обшитий листовим залізом. Робітниці сидять біля конвеєра на гвинтових стільцях, висота сидінь яких змінюється залежно від росту робітниці.

По обидва боки транспортерної стрічки є ґрати, через які відходи надходять у гідротранспортер, що проходить під конвеєром доочищення, і насосом відкачуються за межі цеху. Разом із твердим лушпинням відкачуються й рідкі відходи з барабанної мийної машини. Відходи надходять на обертовий ґратчастий барабан, де рідкі відходи видаляються в три послідовно з'єднаних відстійники, а тверде лушпиння надходять у розташовану поруч бетонну місткість. Відходи використовуються на корм худобі.

Із конвеєра доочищення картопля надходить в елеваторну мийну машину й скребковим транспортером завантажується в бункер овочерізки. Під овочерізкою встановлено сито-трясун, на якому нарізана картопля промивається водою для видалення з її поверхні крохмалю. Обидві машини встановлені на металевій площадці.

Нарізаний продукт надходить на лотік, який рівномірно розподіляє його на стрічці парового бланшувача. Бланшовані овочі зазвичай прилипають до сітки й повністю не зсипаються на стрічку сушарки, тому їх доводиться вигрібати знизу. Для усунення цього недоліку встановлено спеціальний струшувальний пристрій, що періодично приводиться в рух від вала бланшувача, викликає вібрацію сітки, і всі шматочки зсипаються на стрічку сушарки.

Завантаження сушарки повинно проводитись безупинно й рівномірно. Рівномірне настилення сировини забезпечується рівномірною подачею її на транспортер, що живить овочерізку. Кількість підготовленої сировини, що подається в овочерізку за одну хвилину, повинна строго відповідати вимогам технологічного режиму, установленого для картоплі (або для певного виду овочів).

Підготовлена картопля, що надходить на першу сушильну стрічку, має розподілитися по всій її ширині шаром однакової товщини. На стрічці не повинно залишатися порожніх місць, тому що в порожніх місцях вільно проходить гаряче повітря. Це порушує режим сушіння і є причиною нерівномірної вологості картоплі (овочів), що виходить із сушарки, і великої кількості покорицневелих (підсмажених) шматочків, які знижують якість готового продукту

Підготовлена сировина, що подається на верхню стрічку, переноситься під час її руху в інший кінець сушарки, де пересипається на другу стрічку. Із другої стрічки вона надходить на третю, а потім на четверту й п'яту. Із п'ятої стрічки повинен виходити готовий сушений продукт. Висушування продукту в сушарках подібного типу відбувається в щільному шарі. Пересипаючись зі стрічки на стрічку, нарізані овочі перемішуються й завдяки цьому піддаються впливу теплоносія з різних боків, що сприяє рівномірності сушіння. Крім того, розпушують продукт і оновлюють його поверхню наявні над першою, другою й третьою стрічками зворушувачі.

У табл. 6.5 наведено режими сушіння картоплі, нарізаної стовпчиками та кубиками, до вологості 12%.

Таблиця 6.5 – Технологічні режими сушіння картоплі

Режим сушіння	Тип сушарки				
	КСА-80		СПК-4Г-90	ПКС-20	
	стовпчики	кубики	стовпчики	Стовпчики	
Кількість продукту, який завантажується, кг/хв.	10,5	10,0	15,4	2,5	
Навантаження на поверхню 1 стрічки, кг/м <sup>2</sup>	16,5	15,1	22,0	16,0	
Швидкість руху стрічок, м/хв	1	0,31	0,33	0,35	0,115
	2	0,24	0,20	0,30	0,075
	3	0,16	0,18	0,31	0,055
	4	0,12	0,13	0,23	0,045
	5	–	–	0,20	–
	5	–	–	0,20	–
Температура повітря над стрічками, °С		60	57	59	50
	1	65	70	72	53
	2	60	65	79	60
	3	57	47	70	48
	4	–	–	52	–
	5	–	–	52	–
Відносна вологість відпрацьованого повітря, %	46	45	46	47	
Загальна тривалість сушіння, хв.	210	210	180	300	
Продуктивність сушарки, кг/год	175	165	210	40	
Витрати повітря, м <sup>3</sup> /год	28000	28000	33000	–	

За правильно встановленого режиму продукт на виході із сушарки є рівномірно висушеним (кількість вологи відповідає вимогам ДСТУ), тобто не

містить шматочків недосушеного продукту. Одночасно при цьому досягається максимальна продуктивність установки. Якщо під час виходу продукту із сушарки в ньому є недосушені шматочки, їх відбирають і завантажують на четверту або п'яту стрічку для досушування. Затримувати досушування не рекомендується, тому що вологі шматочки продукту закисають, пліснявіють і псуються.

Випуск сушеного продукту із вмістом вологи нижче стандартного на 1% не допускається, тому що це пов'язано зі зменшенням продуктивності сушарки й перевитратою сировини. Коли сушений продукт виходить із сушарки пересушеним, незважаючи на повну завантаженість стрічок і строге дотримання режимів зневоднювання, варто перевірити навантаження продукту на першу стрічку сушарки (товщину шару продукту), довести її до норми й за необхідності трішки знизити тиск пари, що надходить у калорифери.

У разі виходу із сушарки продукту з підвищеною вологістю або з наявністю більше 2% недосушених шматочків варто перевірити температуру конденсату, що виходить із нижнього калорифера сушарки. У разі зниженої температури конденсату потрібно продути калорифер, якщо цього буде недостатньо, то варто підняти тиск пари.

Висушена картопля (овочі) із сушарки надходить на стрічковий сортувальний транспортер, виконаний із білої бельтингової стрічки. На цьому транспортері проводиться інспектування й сортування сушеного продукту. Уручну відбирають шматочки, що мають різні дефекти: залишки шкірочки, вічка, чорні або підсмажені плями й ін.

Відсортовані овочі, зсипаючись із транспортера, проходять магнітну огорожу, ваги й фасуються розсипом у крафт-мішки, які зашивають на машині. Відсортована картопля (овочі) може надходити й на брикетування.

Брикетують сушені овочі на гідравлічних пресах. Брикети фасують у металеві банки. Потім банки закатують на закатній машині й для запобігання корозії жерсті змазують у ванні технічним вазеліном, підігрітим до температури 135° С.

Упаковану продукцію на піддонах за допомогою акумуляторних навантажувачів перевозять на склад готової продукції.

*Технологічна лінія виробництва сушених картоплі й коренеплодів із пароводотермічним очищенням працює таким чином.*

Сировину, що надходить із овочесховищ гідротранспортером, подають елеватором у кулачкову мийну машину. Потім вона надходить на інспекційний транспортер, де вручну відбирають некондиційні бульби або коренеплоди. Некондиційну картоплю передають на утилізацію в крохмальний цех.

Проінспектована сировина елеватором передається в калібрувальну машину, де вона розподіляється за розмірами та зсипається у відповідні розмірам коренеплодів бункери, розташовані під калібрувальною машиною. Сировина роздільно, за калібрами, стрічковим транспортером і елеватором після зважування на автоматичних вагах передається на бланшування й очищення в пароводотермічний агрегат (автоклав і водяний термостат).

Бланшовану й очищену сировину дочищують уручну на конвеєрі, інспектують і зважують на вагах.

Дочищений напівфабрикат охолоджують і похилим транспортером подають на радіальний транспортер, що слугує для завантаження в овочерізку КР-1, яка, пересуваючись по напрямних рейках над похилим транспортером парової стрічкової сушарки, нарізає овочі й розподіляє їх по ширині стрічки.

Нарізані шматочки зневоднюються в паровій конвеєрній сушарці. Після цього їх сортують на інспекційному конвеєрі з магнітом і пропускають через дозувальний бункер.

Брикетиують сушені овочі й картоплю на гідравлічному пресі, брикети загортають у папір на конвеєрі й упаковують у ящики або банки на столі.

*Потоково-механізована технологічна лінія виробництва сушеної картоплі з механічним очищенням бульб* включає такі операції.

Автомашина із сировиною розвантажується гідравлічним підйомачем, бульби зсипаються по сталевим похилим ґратам для відділення землі й скребковим транспортером подаються на стрічковий транспортер. Перекидаюча площадка гідравлічного підйомника, бункер (із ґратами) і частина скребкового транспортера знаходяться в холодному приміщенні. Тому взимку, щоб лід не намерзав на скребковий транспортер, унизу уздовж нього проходять дві опалювальні труби, по яких від системи опалення сировинної площадки подається пара.

Стрічковий транспортер тягнеться уздовж всієї сировинної площадки на висоті 2 м. На транспортері є пристрої, що дозволяють розвантажувати овочі на підлогу сировинної площадки уздовж всієї її довжини. Для того щоб бульби від удару не билися, у місцях вивантаження встановлюють похилі дерев'яні щити, по яких сировина скочується на підлогу. У підлозі сировинної площадки паралельно один одному проходять три гідротранспортери, що подають бульби в кулачкову мийну машину.

Вимита сировина надходить на інспекційний транспортер, де відділяються гнілі бульби та з дефектами, а також сторонні предмети.

Проінспектовану картоплю зважують на автоматичних вагах, після чого вона надходить на барабанну калібрувальну машину, де сортується на чотири розміри. Картопля діаметром до 5 см передається для перероблення на крохмаль, а великі, середні й дрібні бульби надходять у бункери.

Калібрована картопля піддається очищенню на абразивних овочечистках періодичної дії або картоплеочищувальних машинах безперервної дії.

Очищену картоплю обробляють протягом 2...3 хв 0,1%-им розчином бісульфіту натрію (у перерахуванні на SO<sub>2</sub>) у сульфітаторі. Після цього вона передається на конвеєр доочищення.

Дочищену картоплю зважують і передають скребковим транспортером в овочерізку. Різана картопля на струшувальному ситі ретельно відмивається від крохмалю й надходить у бланшувач, а потім у сушарку.

Подальші операції з обробки й фасування сушеної картоплі проводяться в основному в такому ж порядку й на такому ж устаткуванні, як і в схемі



виробництва сушених картоплі й коренеплодів із застосуванням парового й пароводотермічного способів очищення.

Під час сушіння картоплі частково руйнуються вітаміни, зменшується вміст цукрів і водорозчинних речовин, змінюється структура тканини; вона ущільнюється, консистенція продукту стає твердою, склоподібною.

Для зменшення інтенсивності процесів, що викликають погіршення якості сушеної картоплі, режими сушіння повинні бути такими, щоб залучення речовин, що беруть участь у хімічних реакціях, які призводять до потемніння, було б мінімальним.

Виникнення й перебіг реакцій, що викликають потемніння, зумовлено вмістом вологи в продукті. У дуже сухих і твердих речовинах цукри й амінокислоти взаємодіють дуже повільно. Тому зневоднювання картоплі й овочів до низької кінцевої вологості й фасування готового продукту в герметичну тару – надійний засіб, що попереджає їхнє потемніння й псування.

Картопля, висушена до низького вмісту вологи (6...7%), у 3 рази довше не змінюється під час зберігання, ніж такий самий продукт, що утримує більшу кількість вологи (11...12%). Одержання сушеної картоплі зниженої вологості, нарізаної стовпчиками перерізом 3x5 мм, на парових конвеєрних сушарках пов'язане з подовженням процесу на 90 хв (300 хв проти 210 хв за вологості 12%).

Збільшення тривалості зневоднювання пояснюється такими чинниками: випаровуванням більшої кількості адсорбційно-зв'язаної вологи, зменшенням швидкості сушіння в міру зниження вмісту вологи в картоплі; ущільненням шматочків, унаслідок чого ускладнюється дифузія вологи від їх центра до периферії; необхідністю проведення другого періоду сушіння за низької температури теплоносія для запобігання потемніння картоплі в результаті утворення меланоїдинів і карамелізації цукрів.

Картоплю, нарізану стовпчиками завтовшки більше 3 мм і кубиками, рекомендується сушити у дві стадії: спочатку до вологості 10...12% у чотири- або п'ятистрічкових парових конвеєрних сушарках, а потім досушують продукт до низької вологості (6...7%) в іншій сушарці. Це дозволяє зберегти продуктивність основної сушарки.

У *силікагелевій бункерній сушарці* картоплю досушують, продуваючи через її шар збезводнене повітря, підігрите до 30...34° С. Повітря відсмоктується вентилятором із верхньої частини бункера, проходить через силікагелевий фільтр (вологопоглинач), де підсушується, і потім нагнітається в нижню частину бункера під решітки, на яких знаходиться продукт. Тривалість досушування картоплі у вигляді стовпчиків від 10...12 до 6...7% вологи 12 год, а кубиків – 23 год. За підвищеної температури повітря до 44...48 °С під час досушування тривалість процесу скорочується до 8 год.

У результаті продування зневодненого повітря через шар сушеної картоплі вологість її знижується. За такого способу досушування можна проводити за відносно низької температури, що має велике значення для збереження якості продукції. Проте внаслідок низької швидкості руху повітря

(0,35...0,40 м/с), великого шару й нерухомого стану продукту процес досушування значно подовжується.

Значно швидше сушена картопля досушується в стрічковій сушарці внаслідок того, що процес відбувається в тонкому шарі під час безперервного руху й трикратного перемішування (пересипання зі стрічки на стрічку). Вологість сушеної картоплі знижується від 10...12 до 6...7% за 80 хв.

У процесі досушування підтримують таку температуру повітря над стрічками: над першою – 55° С, над другою – 60° С, над третьою – 58° С, над четвертою – 40° С; відносна вологість відпрацьованого повітря становить 35...38% за питомого навантаження продукту 4,7 кг/м<sup>2</sup>.

Тривалість сушіння залежить від температури теплоносія, зі збільшенням температури сушіння прискорюється. Але підвищувати температуру повітря до 120° С можна тільки на початку процесу, коли вологість картоплі висока. На останніх етапах сушіння температуру повітря необхідно знижувати відповідно до зменшення вологості продукту.

Щоб одержати сушений продукт високої якості без покоричневілих шматочків, у процесі одностадійного сушіння необхідно підтримувати таку температуру повітря: над першою стрічкою 70° С, над другою – 75° С, над третьою – 60° С, над четвертою – 50° С, над п'ятою – 40° С. Під час двостадійного сушіння картоплі у вигляді кубиків у процесі досушування температура повітря над першою стрічкою повинна бути 50° С, над другою – 55° С, над третьою – 50° С і над четвертою – 45° С. Відносна вологість повітря повинна становити 35...38%, а питоме навантаження – 4...5 кг/м<sup>2</sup>.

Для збільшення стійкості сушеної картоплі під час зберігання в умовах підвищеної температури (25...30° С) необхідно, щоб вологість готового продукту була мінімальною (3...4%).

Сушити картоплю до вмісту в ній вологи нижче 6% в умовах виробництва нерентабельно. Тому для того щоб продовжити сушіння продукту в процесі зберігання, у тару закладають вологопоглиначі. За допомогою вологопоглинача доцільно досушувати картоплю вологістю 6...7%, тому що під час досушування продукту вологістю 11...12% необхідно закладати значну кількість вологопоглинача, що спричиняє збільшену витрату герметичної тари.

Вибирають поглинач без запаху, із великою об'ємною масою, дешевий, добре поглинаючий вологу. Він не повинен бути токсичним, кородувати або ставати рідким у процесі поглинання вологи.

Найбільш доцільно як вологопоглинач використовувати оксид кальцію (СаО), що в спеціальному водонепроникному упакованні (10% маси сушеної картоплі) закладають усередину банки з продуктом.

Оптимальна температура під час досушування продукту в тарі за допомогою вологопоглинача 20° С. Протягом 6 міс. вологість сушеної картоплі знижується з 6...7 до 3,5...4%. Стійкість до покоричневіння й псування такого продукту в умовах підвищеної температури збільшується в 4 рази порівняно зі зберіганням без вологопоглинача.

#### 6.4.2. Сушіння овочів

*Коренеплоди.* Моркву й буряк для сушіння обробляють за технологічною схемою, прийнятою для картоплі під час пароводотермічної і парової підготовки.

Моркву й буряк подають на перероблення з бургів або сховищ. Миття коренеплодів проводять у лопатевих барабанних або вібраційних мийних машинах, зважують на автоматичних вагах, піддають інспектуванню, видаляють екземпляри дуже дрібні, гнилі та з іншими дефектами. Після інспектування коренеплоди сортують на калібрувальних машинах барабанного типу на три розміри: морква дрібна розміром 2...3,5 см, середня – 3,5...4,5 см, велика – більше 4,5 см; буряк – відповідно 6...8, 8...10 і більше 10 см.

Моркву перед сушінням піддають глибокій термічній обробці, а буряк варять до готовності. Така обробка сировини забезпечує одержання сушеного продукту з більш коротким часом відновлення (20...25 хв замість 35...45 хв за звичайного бланшування). Теплову обробку коренеплодів більш раціонально здійснювати в цілому вигляді. Це запобігає більшим втратам цукру, барвників та інших розчинних речовин.

Для кращого очищення моркви від шкірочки в термостат пароводотермічного агрегату додають водяні розчини лугів. Для лужної обробки моркви застосовують їдкий натр (NaOH) – 0,1%-ий розчин, кальциновану соду (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) – 0,5%-ий розчин і гашене вапно [Ca(OH)<sub>2</sub>] – 0,75%-ий розчин. Тривалість обробки лужним розчином 10 хв. Лужний розчин у термостаті змінюють поступово. Після кожних двох вивантажень моркви з автоклава в термостат частину лужного розчину необхідно замінити свіжим. Під час застосування луку необхідно ретельно стежити за змиванням його в мийно-очисній машині. Шкірочка в машині повинна змиватися з моркви проточною водою до повного видалення луку. Якість відмивання луку контролюють за зміною кольору лакмусового паперу: за наявності луку папір стає синім.

Із мийно-очисної машини буряк і морква надходять на конвеєр доочищення, де в буряка вручну видаляють грубі верхівкові частини, у моркви – зелені верхівки, а також залишки шкірочки, чорні плями та інші дефекти. Дочищені буряк і морква надходять в овочерізки, де ріжуться на стовпчики або кубики. Нарізані коренеплоди подаються на сушіння.

Під час очищення моркви й буряка паровим способом, а також моркви лугом коренеплоди не калібрують.

Очищену моркву ріжуть на шматочки й бланшують парою у стрічкових бланшувачах за температури 88...95° С упродовж 3...5 хв, а буряк варять в автоклавах або двостінних казанах, потім подрібнюють у коренерізках, після чого продукт надходить у сушарку.

Для того щоб буряк не прилипав до стрічок, першу й другу стрічки попередньо змазують тонким шаром соняшникової олії. Сушіння буряка, нарізаного стовпчиками, до вмісту вологи 6...7% проводять на чотиристрічкової сушарці за питомого навантаження 11 кг/м<sup>2</sup> першої стрічки,

тривалості процесу 256 хв і температури повітря над стрічками: над першою – 74° С, другою – 72° С, третьою – 56° С, четвертою – 40° С.

Моркву у вигляді стружки зі зниженою вологістю одержують під час сушіння за таким режимом: кількість повітря, що надходить у сушарку, – 36000 м<sup>3</sup>/ч, температура повітря над першою стрічкою 70° С, над другою – 72°С, над третьою – 65° С, над четвертою – 58° С, над п'ятою – 47° С; навантаження на першу стрічку 8 кг/м<sup>2</sup>, тривалість сушіння 300 хв. Тривалість сушіння моркви до 8% вологи, нарізаної кубиками 8×8×8 мм, – 8,8 год, а кубиками 6×6×6 мм – 4,4 год, для кубиків буряка відповідних розмірів – 6 і 4,2 год.

Білі корені (петрушка, селера й пастернак) миють у кулачковій або барабанній мийній машинах. Після миття їх зважують і передають на інспектування для видалення тонких відростків, корінців, дрібних і зіпсованих екземплярів.

Очищення білих коренів від шкірочки проводиться двома способами: механічним і хімічним (лужним). Після очищення коріння ретельно промивають і подають на ручне доочищення, де обрізають головки, видаляють залишки шкірочки, темні плями та ін. Після ручного доочищення корені подрібнюють на овочерізках у вигляді стовпчиків (3х5 мм) або кубиків із розміром грані 6...8 мм і передають на сушіння без бланшування.

Сушіння проводять у парових конвеєрних сушарках за двома режимами: до вологості не більше 14% і не більше 8% (для тривалого зберігання).

*Ріпчаста цибуля.* Сушіння цибулі здійснюють на потоково-механізованих лініях, у яких додатково встановлюють машини для обрізання шийки й денця та очищення лушпиння.

Цибулю доставляють на перероблення з цибулесховища машинами або транспортерами. Після зважування її очищають від верхнього сухого та грубого лушпиння, видаляють шийку й денця. Для очищення використовують машини або потокові лінії. Після чищення цибулю обполіскують холодною чистою водою під душем або миють у машинах, потім воді дають стекти й цибулю подають на шинкування.

Нарізають цибулю в шаткувальній машині кружечками завтовшки 3...4 мм. Нарізану цибулю подають у сушарку без бланшування.

Сушіння цибулі проводять до вологості не більше 14%. Для тривалого зберігання сушеного продукту й забезпечення в ньому більше високого вмісту вітаміну С сировину перед сушінням обробляють 0,2...0,3%-им розчином бісульфіту натрію шляхом душового обприскування протягом 3 хв або занурення у розчин на 1...2 хв. Зневоднювання проводять до вологості 6...8%.

Для виробництва порошку використовують цибулю, висушену до вологості не більше 8%, і цибульний дріб'язок, що не містить горілої цибулі. Сушену цибулю та дріб'язок розмелюють на мікрмлині або молотковій дробарці з наступним просіванням через сито з дротяною сіткою. Відсіяні великі частинки цибулі повертають на повторний розмел. Цибульний порошок пропускають через магнітні огорожі, після чого направляють на фасування й упакування.

Дроблену цибулю одержують подрібнюванням сушеної цибулі вологістю не більше 8% на молотковій дробарці із ситом із діаметром отворів 8...10 мм.

Дроблену цибулю просівають через два струшувальні сита з дротяною сіткою № 5 і 2. Схід із сита № 5 направляють на повторне дроблення. Прохід із сита № 2 використовують для виробництва цибульного порошку. Дроблену цибулю інспектують, пропускають через магнітні огорожі й направляють на фасування й упакування.

*Білокачанна капуста.* Для сушіння капусти використовують парові конвеєрні сушарки різних типів, а лінії додатково комплектують качановисвердлювачем і шаткувальною машиною.

Капусту подають у цех із сировинної площадки або овочесховища автомашинами або транспортерами. Сировину, що надійшла, сортують за розміром, видаляють пухкі капустини, а із щільних видаляють качани, висвердлюючи їх качановисвердлювачем.

Після висвердлювання качанів капуста надходить на очищення від грубих зовнішніх темно-зелених листків. Внутрішні здорові, припасовані світло-зелені листки доцільно залишати, тому що в них міститься багато цінних мінеральних солей і вітаміну С. Кількість відходів при цьому значно зменшується. Очищають капусту вручну добре загостреними кухонними ножами на спеціальних столах.

Очищену капусту інспектують на стрічковому транспортері, де видаляють капустини із залишками качана й погано зачищеними місцями. Потім її нарізають на шаткувальних машинах у вигляді вузької й рівномірної стружки шириною 3...4 мм. Тонке різання капусти сприяє кращому й більш швидкому видаленню з неї вологи.

Під час різання на шаткувальній машині (частота обертання вала 140 об/хв) за допомогою загострених ножів із корозієстійкої сталі втрати вітаміну С не перевищують 4% вихідного вмісту. Більші втрати вітаміну С відбуваються під час тривалого зберігання нарізаного продукту, тому його варто негайно передавати на наступні операції.

Останнім часом застосовується вдосконалена технологія виробництва сушеної капусти, що передбачає короткочасне бланшування паром подрібненої сировини, обробку її розчином бісульфіту натрію й сушіння до вологості 5...7%. Це дозволяє одержувати продукт високої якості, із часом відновлення 14...17 хв (проти 32 хв за старою технологією), стійкий під час тривалого зберігання.

Бланшують капусту в паровому стрічковому бланшувачі 2...3 хв за товщини шару 3...4 см і температури в паровій камері не нижче 93° С. Тривалість обробки регулюється швидкістю руху стрічки бланшувача й кількістю пари (у кг/год), яка подається в камеру. Закінчення бланшування визначають за консистенцією та зовнішнім виглядом продукту (стружка напівпрозора). Температура продукту під час виходу з парової камери повинна бути не нижче 81° С. Дотримання цих умов сприяє меншому вилудженню екстрактивних речовин, меншому руйнуванню вітамінів і прискорює процес сушіння.

Під час виходу з бланшувача капусту інтенсивно обприскують холодним 0,08...0,1%-им розчином бісульфіту натрію (у перерахуванні на SO<sub>2</sub>) на спеціальній установці. Сульфітний розчин зі сталевих резервуарів під тиском 0,3 МПа подається через розпилювальні форсунки, установлені на виході з парової камери над стрічкою бланшувача. Тривалість обробки 20...25 с. Вміст SO<sub>2</sub> у свіжовисушеній капусті повинен бути не більше 0,06%. Після сульфитації капуста надходить на сушіння. Зневоднюють капусту до вологості 13...14 і 6...8%.

*Зелений горошок.* Для сушіння використовуються зерна незрілого горошку луцильних сортів. Найцінніші для сушіння високоцукристі мозкові сорти, зерно яких добре зберігає під час сушіння зелений колір і набуває зморщеності. Сорти, що рекомендуються, – Ранній консервний, Скоростиглий мозковий, Беладона, Досконалість, Чудо Кельведона, Делікатес та ін.

Мозкові сорти горошку оцінюються вищим або I сортом. Горошок вищого сорту повинен мати густину 1,03 г/см<sup>3</sup>, а I сорту – не більше 1,05 г/см<sup>3</sup>.

Сировину, призначену для перероблення, збирають на стадії технічної зрілості, коли стручки ще повністю не дозріли. У цьому стані зерна мають зелений колір без білуватого нальоту й містять максимальну кількість цукру. Для зневоднювання придатне зерно, що спливає в розчині кухонної солі (розсолі) густиною 1,05...1,06 г/см<sup>3</sup>.

Доставляють сировину (стручки, відділені від бадилля, або з бадиллям) на завод у ящиках або кошиках по 18 кг. Горошок у зерні повинен надходити в ящиках насипом не більше 20 кг. Транспортують зелений горошок також у холодній воді (температура близько 5° С) у термоізованих автоцистернах. Тривалість зберігання зерна не більше 4 год, а стручків – не більше 10 год.

Технологічні процеси підготовки горошку до сушіння включають такі операції: обмолот стручків, видалення сторонніх домішок – важких (камінчиків, землі) і легких (стулок, листків, шматків бадилля, дроблених стручків), миття, калібрування, інспектування й бланшування.

Обмолот стручків, або відділення зерен від стулок, проводиться на молотильних або луцильних машинах.

Для звільнення зерен від стручків використовуються луцильні машини. У цих машинах є обертовий вал із лопатами, які розбивають стручки. Сировину подають у приймальний бункер елеватором. Із бункера сировина надходить у шнековий транспортер, що переміщає її в зовнішній барабан, обтягнутий металевою сіткою. Розміри отворів у сітці поступово збільшуються від місця надходження до місця виходу сировини. Внутрішній барабан складається із семи секцій із розміром отворів 9, 10, 11, 12, 13, 14 і 15 мм.

На внутрішній поверхні зовнішнього барабана закріплені дерев'яні планки, які піднімають стручки нагору й переміщують їх уздовж барабана. Зовнішній барабан обертається з невеликою швидкістю (10 об/хв). Піднявшись нагору, стручки під дією сили тяжіння падають і попадають під удари дерев'яних планок внутрішнього барабана, що обертається з частотою 80 або 160 об/хв.

Піддаючись ударам, стручки розбиваються, а горошок через отвори сітки зовнішнього барабана потрапляє на похилий транспортер, призначений для відділення від дрібних частинок стручків, що пройшли через отвори в сітці зовнішнього барабана. Горошини, що мають кулясту форму, скочуються по похилому транспортері й потрапляють у збірник, а плоскі частинки стручків несуться транспортером нагору, де знімаються скребковим щітковим транспортером, що переміщується в напрямку, перпендикулярному руху похилого транспортера. На кінці внутрішнього барабана на його внутрішній поверхні закріплені шнекові витки для виведення стручків із машини.

Для очищення від домішок зерна горошку пропускають через віялку (зерновий сепаратор), що являє собою систему сит, які виконують зворотно-поступальний рух.

Свіжообмолочений і очищений від домішок зелений горошок направляють на миття у флотаційну мийну машину, де його обполіскують під душем та інспектують на стрічковому транспортері. Під час інспектування видаляють залишкові сторонні домішки, шматки стулок, а також ушкоджені зерна.

Оброблене зерно з пункту на завод перекачують гідротранспортером спеціальними насосами. Щоб уникнути ушкодження зерен співвідношення води й горошку повинно бути не менш 3:1, а тип насоса, перетин трубопроводу й напір у ньому точно розраховують, виходячи з продуктивності лінії.

Промиті та проінспектовані зерна горошку калібрують на два розміри: дрібний (прохід через 8-міліметрове сито) і великий (схід із цього сита). Наступні процеси (бланшування й сушіння) здійснюють роздільно за розмірами.

Бланшують горошок у водяних бланшувачах, де він піддається тепловій обробці протягом 3...4 хв (залежно від розміру) за температури води не менше 92° С. Під час бланшування колір горошку змінюється від світло-зеленого до темно-зеленого, що є однією з органолептичних ознак закінчення процесу. Зелений колір горошку, зумовлений наявністю хлорофілу, добре закріплюється за слабколужної реакції (рН 7,1...7,4) бланшувальної води. Така реакція середовища досягається додаванням у воду питної соди. Нормально пробланшований горошок стає м'якшим: під час здавлювання горошку між пальцями оболонка його повинна легко відділятися.

Після бланшування горошок піддають сушінню до кінцевої вологості не більше 14%. Сушений продукт сортують на два розміри в сепараторах із двома ситами: на верхньому з круглими отворами діаметром 7 мм і на нижньому з поздовжніми отворами 3×20 мм. Схід із верхнього сита – горошок I сорту, із нижнього – вищого сорту. Прохід через нижнє сито являє собою частини зерен, оболонки й належить до відходів.

Відкалібрований горошок інспектують із метою відбору недосушених, підсмажених, зіпсованих і з іншими дефектами зерен, потім пропускають через магнітні огорожі.

*Пряна зелень.* Пряна зелень (кріп, петрушка, селера) містить значну кількість ефірних олій, вітамінів, має приємні смакові й ароматичні властивості,

викликає апетит і поліпшує засвоюваність їжі. Постачання населення свіжою пряною зеленню обмежене літніми місяцями. Тому пряну зелень піддають сушінню.

Основним завданням під час сушіння зелені є збереження в ній найбільшої кількості ефірних олій, високої вітамінної активності й натурального кольору. Тому необхідно строго дотримуватися вимог до якості вихідної сировини, ступеня її зрілості й режимів сушіння.

*Кріп* як пряна зелень має значення лише коли молодий, тому його сіють і збирають протягом сезону кілька разів (через кожні 15–20 днів). Найважливішою складовою частиною кропу є ефірна олія, що являє собою безбарвну або зеленувато-синю рідину густиною 0,906...0,933 г/см<sup>3</sup>, яка отримується водною перегонкою кропового насіння та інших частин рослини. Вихід її становить до 2,5%.

*Селера* містить особливу ефірну олію – седаномід, що надає всім частинам рослини специфічний пряний запах, і велику кількість білка, мінеральних солей, вітамінів. Для сушіння використовується коренева й листяна селера.

*Петрушка* – найпоширеніша з пряносмакових рослин. Цінується за аромат, смак і високий вміст вітамінів А і С. Розрізняють кореневу й листяну петрушку. У кореневої петрушки використовують коренеплоди, що під час сушіння перебарвлюють на білий корінь, у листяної – листя, у якому міститься дуже багато вітаміну С.

Для сушіння всіх культур відбирають молоді, свіжі, ніжні стебла із зеленим листям, відділені від грубих черешків. Із моменту збирання сировини й до її перероблення необхідно прагнути зберегти в ній ефірні олії та вітамін С, тому що всі овочеві культури та їх зелень чутливі до умов і строків зберігання.

Молодий кріп, зелень петрушки й селери доставляють на завод у день збирання в ящиках або кошиках. Особлива увага приділяється тарі: вона повинна бути вимита й просушена; ящики й кошики, призначені для перевезення зелені, не можна використовувати для перевезення іншої сировини. Якщо кріп, петрушка й селера надійшли на сушіння із задерев'янілими стеблами, то в цеху насамперед обрізають їх верхні ніжні частини й направляють на миття.

Щоб уникнути перегрівання сировини в ящиках і псування, її варто негайно подавати на перероблення; у разі затримки зелень із кошиків або ящиків потрібно викласти на чисту підлогу або мішковину в затемненому прохолодному вентилярованому приміщенні шаром завтовшки не більше 10 см; зберігати її можна не більше 1 доби.

Перед надходженням на миття зелень інспектують, видаляючи поживні частини й домішки. Потім її транспортером подають на душеве миття, причому шар її не повинен перевищувати 3...5 см. Товщину шару й час знаходження сировини під душем регулюють залежно від забруднення. Після миття зелень поміщають на сітчасті столи для стікання води або обдувають повітрям на сітчастому транспортері.



Бланшування пряної зелені, як правило, не застосовується, тому що воно викликає більші втрати розчинних і ароматичних речовин, злипання листків і сповільнює процес сушіння.

Сушіння пряної зелені на стрічковій сушарці (ПКС-20) проводиться за температури повітря над першою стрічкою 55...60° С, над другою – 50...55° С, над третьою – 45...50° С, над четвертою – 40...45° С.

Навантаження на 1 м<sup>2</sup> стрічки сушарки становить від 3 до 3,5 кг, тривалість сушіння – 2,5...3,0 год. Готова сушена зелень повинна мати вологість не вище 14%. Її можна висушити й до 6...7%, у цьому разі вона підлягає фасуванню в герметичну тару.

*Часник.* Для сушіння використовують часник усіх ботанічних сортів.

Часник підрозділяється на стрілковий, зі стрілкою в центрі цибулини й нестрілковий без квіткового стебла. Цибулина часнику складається з декількох соковитих зубків (частинок) різних розмірів. Кожний зубок покритий щільною оболонкою. Зубки скріплені вкороченим стеблом (денцем), що має коріння, і покриті в кілька шарів загальними сухими оболонками (лусочками) різних кольорів і відтінків.

Часник – цінний харчовий продукт. Цибулина часнику містить близько 40% сухих речовин, більшу частину яких становлять вуглеводи. У часнику в значній кількості містяться ефірні олії, що зумовлюють його характерний смак і запах, а також фітонциди, що надають йому бактерицидні властивості. Часник широко застосовується під час соління та маринування овочів, у виробництві харчових концентратів, ковбас; у зневодненому вигляді добре зберігається. Сушений часник випускають у вигляді пелюстків, порошку й таблеток.

Технологія сушіння часнику складається з таких операцій: розбиття цибулин на зубки та їх очищення, відвіювання луски й стрілок, різання зубків на тонкі пелюстки, сушіння шматочків на парових конвеєрних сушарках, відвіювання залишків луски й інспектування готового продукту.

На швидкість сушіння та якість сушеного продукту дуже впливають такі чинники, як розмір нарізаних шматочків, наявність луски на його поверхні, попередня підготовка перед сушінням і температура повітря під час сушіння.

Доставлені на завод цибулини часнику після інспектування, зважування й підсушування за температури повітря 40...45° С дроблять на окремі зубки на дробильній машині (А-9-КЧП або ін.). Очищений часник надходить на інспекційний транспортер часникоочищувальної машини, де його інспектують, відбираючи при цьому гнілі зубки, з пошкодженими шкідниками денцями; неочищені зубки направляють повторно на машину.

Очищені зубки ріжуть на тонкі шматочки (пелюстки) завтовшки 2...3 мм. Для різання можуть застосовуватися овочерізки з горизонтальним або вертикальним розташуванням ножів. Неодмінною умовою якісного подрібнювання продукту є хороший стан ріжучих ножів і рівномірне змочування їх водою. Різання продукту з одночасним обприскуванням водою сприяє змиванню з поверхні шматочків клітинного соку, що запобігає злипанню їх під час сушіння й потемнінню. Нарізаний часник без попереднього бланшування піддають сушінню до вологості не більше 8%. Зберігають

продукт у герметичній тарі. Сушений часник із більш високим вмістом вологи погано зберігається, шматочки його злипаються, розм'якшуються й значно темніють.

Зневоднювання часнику до 8%-ої вологості проводять у сушарках СПК-4М-90. Після сушіння продукт надходить на інспектування, де видаляють залишки луски, підсмажені, недосушені й з іншими дефектами шматочки.

Для одержання порошку сушений часник подрібнюють на дробарці й просіюють через шовкове сито № 19.

Часникові таблетки роблять шляхом змішування порошку з кухонною сіллю «Екстра» у співвідношенні 17:1 з наступним таблетуванням на машині РТМ-41-00-ОПС або ін. Часникові таблетки випускають фасованими масою нетто до 500 г у скляних банках із герметичним закупорюванням.

*Баклажани.* Свіжі баклажани доставляють на підприємство в автомашиних насипом. Зберігання сировини здійснюють насипом на критих асфальтованих сировинних площадках або в добре вентильованих приміщеннях. Під час переробки баклажанів строго дотримуються черговості надходження сировини на перероблення з обліком її якісного стану.

Граничний термін зберігання сировини на сировинній площадці з моменту збирання до перероблення не повинен перевищувати 48 год.

Свіжі баклажани миють у мийній машині (КУМ-1), інспектують, видаляють плодоніжку, удруге миють у проточній воді, а потім ріжуть кубиками з розміром сторони 20 мм на машинах марки «Ритм», фірм «Херборт», «Хильде» або інших і сушать на паровій конвеєрній сушарці до вмісту вологи 12%. Висушені баклажани надходять на інспектування.

Сушені баклажани, як і свіжі, використовують для приготування різноманітних овочевих і м'ясних страв. Відновлення сушених баклажанів проводять шляхом варіння їх у воді протягом 25...35 хв. Після відновлення зливають зайву воду й готують кулінарну страву. 100 г сушених баклажанів еквівалентні 1 кг свіжих.

*Гарбуз* є цінним харчовим продуктом, тому що містить значну кількість цукрів (до 10%), мінеральних солей (калію, кальцію, натрію, магнію, заліза, фосфору), вітамінів, пектинових речовин. Під час виробництва сушеного гарбуза велике значення має якість сировини.

Плоди, ушкоджені під час збирання й транспортування, швидко псуються та гниють. Установлено, що довгостроково зберігати можна лише стандартні плоди. Дуже великі плоди необхідно збирати окремо й використовувати для перероблення не пізніше ніж через 1...1,5 міс. після збирання. Транспортують гарбуз із поля в контейнерах або насипом.

Для зберігання гарбуза можуть бути використані будь-які сухі приміщення, що обігріваються, з оптимальною температурою в зимовий час 6...8° С і відносною вологістю повітря не вище 70...75%.

Підготовка гарбуза до сушіння включає миття щітками, видалення шкірочки й насінної коробки, різання на стовпчики перерізом 3×5 мм, бланшування парою протягом 2 хв.

Плоди з товстою шкіркою очищають на пристрої, виготовленому за типом токарського верстата для обробки дерева. Для цього їх поштучно встановлюють на патроні передньої бабки й підтискають конічним фіксатором задньої. Під час обертання плода за допомогою встановленого спеціального ножа гарбуз очищається від шкірки. Для механічного очищення найбільш придатні плоди продовгуватої форми, із яких шкірка знімається повністю. Гарбуз, що має приплющену форму, очищають уручну.

Підготовлений гарбуз сушать у сушарці ПКС-20 за питомого навантаження на стрічку  $12,3 \text{ кг/м}^2$ , температури повітря над першою стрічкою  $52^\circ \text{C}$ , над другою –  $50^\circ \text{C}$ , над третьою –  $36^\circ \text{C}$ , над четвертою –  $28^\circ \text{C}$ , відносна вологість відпрацьованого повітря – 36%. Тривалість сушіння 207 хв, вологість готового продукту 13,5%.

Тривалість розварювання сушеного гарбуза становить 6 хв, а коефіцієнт набрякання – 5,2.

*Цвітна капуста.* Цвітну капусту сортують за якістю, очищають від покривних листків, видаляють товсті кінці квітконіжок, миють, ріжуть на пластинки завтовшки 3...3,5 мм на дисковій овочерізці, бланшують і сушать. Бланшування парою протягом 2 хв забезпечує повну інактивацію окисних ферментів, прискорює процес сушіння й поліпшує кулінарні властивості порівняно з капустою, бланшованою в киплячій воді, а також із капустою, висушеною без попереднього бланшування.

Бланшовану цвітну капусту піддають сушінню в сушарці ПКС-20 за питомого навантаження на стрічку  $8,2 \text{ кг/м}^2$ , завантаження  $1,6 \text{ кг/хв}$ , температури повітря над першою, другою, третьою, четвертою стрічками відповідно  $50, 46, 40, 33^\circ \text{C}$  і відносної вологості відпрацьованого повітря – 47%. Загальна тривалість сушіння 186 хв. Кінцева вологість готового продукту не більше 14%. Вміст вітаміну С під час виробництва бланшованої парою сушеної цвітної капусти становить 60% від кількості, що міститься в сировині.

## **6.5. Технології одержання швидковідновлюваних сушених овочів і картоплі**

Сушені овочі й картопля під час сушіння дають значну усадку, зменшуючись в об'ємі в 3–4 рази, а в процесі відновлення повільно поглинають воду й під час кулінарної обробки їх необхідно варити протягом 18...25 хв. Із метою усунення цих недоліків останнім часом розроблено способи одержання швидковідновлюваних сушених продуктів, які можна розділити на три основні групи.

До першої з них належать методи, засновані на зміні первісної структури шляхом переведення вологи, що міститься в продукті, у кристалічний стан (заморожування) і наступного випаровування її на звичайних атмосферних або вакуум-сублімаційних сушильних установках.

До другої групи належить одержання пористих продуктів шляхом інтенсивного підведення тепла до центра продукту, створення перепаду тисків

пари, що викликає руйнування структури продукту (вибух) і збільшення його пористості, а також шляхом обробки високотемпературним теплоносієм.

До третьої групи можна віднести методи попередньої обробки овочів різними речовинами (осаджувачами).

*Конвективне сушіння з попереднім заморожуванням.* За цього способу картоплю й овочі, підготовлені за звичайно прийнятими схемами, піддають заморожуванню, після чого їх висушують на парових конвеєрних сушарках. Уведення в технологічні схеми процесу заморожування дозволяє одержувати високопористі швидковідновлювані сушені продукти з тривалістю варіння (у хв): картоплі 1...2; моркви 2...5; буряка 3...5; капусти 5...6, а також інтенсифікувати процес сушіння на 25...30% порівняно із сушінням овочів без заморожування.

Зміна властивостей рослинної сировини під час заморожування пов'язана з утворенням кристалів льоду, порушенням клітинної структури тканин і утворенням у ній пор, що створює сприятливі умови для видалення вологи під час сушіння й для відновлення сушеного продукту під час кулінарної обробки.

Прискорення процесу сушіння попередньо заморожених овочів пов'язане зі зменшенням їх вологоутримуючої здатності. Установлено, що застосування низьких швидкостей заморожування ( $0,2^{\circ}\text{C}$  за хвилину за кінцевої температури продукту  $-8^{\circ}\text{C}$ ) дозволяє одержати мінімальні значення вологоутримуючої здатності картоплі й овочів, тобто досягти максимального руйнування їх клітинної структури великими кристалами льоду. Проте за такого режиму заморожування не вся вода, що міститься в продукті, перетворюється на лід, а це може негативно впливати на пористість сушеного продукту.

Кількість вимороженої вологи збільшується зі зниженням температури й за  $-25^{\circ}\text{C}$  становить 90%, тобто основну частину вологи, що міститься в продукті. На підставі цього найбільш доцільно проводити заморожування східчасто: спочатку заморожування здійснювати за температури, близької до  $-10^{\circ}\text{C}$ , із метою одержання великих кристалів льоду, а потім доморожувати продукт за  $-25...-35^{\circ}\text{C}$  для збільшення кількості вимороженої вологи.

Сушіння заморожених картоплі й овочів здійснюють за температури повітря над продуктом  $55...70^{\circ}\text{C}$ , швидкості його  $0,5...1\text{ м/с}$  і питомого навантаження  $12...16\text{ кг/м}^2$ .

Одержані сушені овочі й картопля мають пористу структуру, швидко відновлюються, а за органолептичними показниками (смаком, кольором, запахом, консистенцією) близькі до овочів, зварених зі свіжої сировини.

*Сушіння овочів, картоплі й фруктів методом сублімації.* Технологічний процес сублімаційного сушіння овочів і картоплі здійснюється таким чином. Підготовка овочів і картоплі до сушіння практично не відрізняється від прийнятої в овочесушильній промисловості. Проте під час сублімаційного сушіння форма й розміри шматочків мають важливе значення, тому що вони визначають тривалість сушіння і якість сушеного продукту, що одержують.

Під час різання овочів для сублімаційного сушіння прийнято такі оптимальні розміри шматочків: картопля – стовпчики з поперечним перерізом  $10\times 10\text{ мм}$ ; капуста білокачанна – стружка шириною  $9...10\text{ мм}$ ; буряк і морква –

стовпчики з поперечним перерізом 3...7 мм; цвітна капуста – скибочки завтовшки 3...5 мм.

Нарізані картоплю й овочі бланшують парою за температури 98...100° С. Картоплю бланшують протягом 3...5 хв; капусту білокачанну – 3...7 хв; цвітну капусту – 3...5 хв; зелений горошок – 2...6 хв. Буряк і моркву бланшують у цілому вигляді з наступним різанням на стовпчики.

Нарізані бланшовані овочі розкладають на сітчасті лотоки шаром 12...15 мм і заморожують у швидкоморозильних камерах (попереднє) або безпосередньо в сублимаційній камері під вакуумом. Для цього лотоки з продуктом завантажують на порожні плити сублиматора й після закриття дверей починають вакуумування системи «сублиматор – конденсатор». Після досягнення температури в центрі шматочків -15...18° С у плити сублиматора подають воду температурою 45...50° С. У цей час і починається процес сублимації. Залишковий тиск у сублиматорі в період сублимації льоду під час зневоднювання картоплі підтримують у межах 0,4...0,8 мм рт. ст.

За час заморожування й сублимації з продукту видаляється до 82% вологи. У міру випаровування вологи температура продукту підвищується, і, коли вона переходить від мінусової через 0° С і виходить у зону позитивних температур, практично вважається, що сублимація закінчена й починається видалення залишкової адсорбційно-зв'язаної вологи. Максимальна температура продукту в цей період 50° С.

Висушування проводять до досягнення продуктом заданої кінцевої вологості. Кінець сушіння визначають за допомогою спеціальних приладів або за показниками термопар.

Під час сублимаційного сушіння ягід їх сортують за якістю, розміром і ступенем зрілості, промивають під душем. Цитрусові (лимони, мандарини й апельсини) після миття нарізають на кружечки: лимони завтовшки 2...3 мм, апельсини й мандарини – 5...7 мм. Після укладання на сітчасті лотоки ягоди й цитрусові піддають попередньому заморожуванню в швидкоморозильному апараті за температури -25...-33° С.

Пюре й соки також піддають попередньому заморожуванню. Заморожені продукти завантажують у сублиматор.

Сушені сублимацією овочі, ягоди, ягідні соки й пюре відрізняються високою якістю, вони мають пористу структуру, завдяки чому швидко відновлюються. У відновленому вигляді вони мало відрізняються від свіжого продукту. З огляду на високу гігроскопічність продуктів сублимаційного сушіння й високопористу структуру їх необхідно упаковувати в герметичну, світлонепроникну тару із заповненням її інертним газом (азотом).

*Сушіння овочів і картоплі з «вибухом».* Суть методу полягає в тому, що підготовлену сировину спочатку підсушують до вологості 25...45% (залежно від виду продукту), а потім завантажують у спеціальний апарат «гармату» (типу В-35М), де піддають її «вибуху».

Апарат типу В-35М являє собою обертовий навколо горизонтальної осі циліндр, установлений на спеціальній станині. З однієї сторони циліндра є кришка, що герметично закривається, закріплена на шарнірі із замикаючим

пристроєм. Для нагрівання слугують розташовані під циліндром газові пальники.

В апарат завантажують 5...7 кг продукту, закривають кришку, установлюють циліндр у горизонтальне положення, запалюють газові пальники й умикають двигун. Після досягнення в циліндрі тиску порядку 1...2,5 МПа подачу газу припиняють і тиск скидають. Це приводить до миттєвого перетворення частини вологи, що міститься в продукті, у пару, у результаті чого продукт набуває пористу структуру. Годинна продуктивність установки 9 кг овочів, нарізаних кубиками з гранями 9,5 мм. Остаточне досушування продукту проводять на стрічкових сушарках або в бункерах.

Тривалість відновлення овочів і картоплі за цього способу сушіння становить 5...7 хв.

*Обробка високотемпературними теплоносіями.* Сушені картопля й коренеплоди з прискореною відновлюваністю одержують шляхом обробки бланшованої картоплі й овочів високотемпературними теплоносіями (повітрям, перегрітою парою, пароповітряною сумішшю) і наступним конвективним сушінням. Термічну обробку проводять теплоносієм температурою до 200° С протягом 8...10 хв у щільному шарі за питомого навантаження 200 кг/м<sup>2</sup> і швидкості повітря 1 м/с або в киплячому шарі за питомого навантаження 20 кг/м<sup>2</sup> і швидкості повітря 5 м/с. Моркву, наприклад, перед термічною обробкою обприскують 2%-им розчином крохмального клейстеру, шматочки буряка обробляють таким самим способом, але з додаванням у крохмальний розчин 0,1%-ого розчину лимонної кислоти для запобігання знебарвлення продукту. Щільна плівка, що утворюється на поверхні продукту, сприяє утворенню пари всередині шматочків під час подальшої обробки високотемпературним теплоносієм. Тим самим створюються умови для активного впливу на структуру продукту з метою підвищення її пористості. Тривалість розварювання сушеної картоплі 4...5 хв, моркви й буряка 8...10 хв.

*Обробка рослинної сировини осаджувачами.* У рослинній сировині міститься нерозчинний у воді протопектин, що входить до складу клітинних оболонок і надає їм твердість.

У процесі варіння овочів протопектин розщеплюється й утворює розчинний пектин. Розщеплення протопектину регулюється рівноважною іонообмінною реакцією, що відбувається між іонами K<sup>+</sup> і Na<sup>+</sup>, з одного боку, Ca<sup>++</sup> і Mg<sup>++</sup> – з іншого. Роль обмінника виконують серединні пластинки клітинних оболонок, у яких Ca й Mg утворюють сольові містки, що зв'язують полігалактуронові ланцюжки в міцний протопектиновий комплекс. У процесі варіння іони, що містяться всередині клітин, K<sup>+</sup> і Na<sup>+</sup> надходять у серединні пластинки й заміщають іони Ca<sup>++</sup> і Mg<sup>++</sup> у сольових містках, що призводить до розриву останніх і роз'єднання полігалактуронових ланцюжків. Оскільки ця реакція оборотна, для розщеплення ланцюжків необхідно виводити з реакції іони Ca<sup>++</sup> і Mg<sup>++</sup> шляхом їхнього осадження.

Як осаджувачі застосовують кислоти (лимонну, щавлеву), фітин, пектин, розчини сахарози й ін. Із перерахованих осаджувачів найбільший ефект дає обробка овочів перед сушінням розчином пектину.

Під час обробки буряка перед сушінням 0,5%-им розчином яблучного пектину тривалість розварювання готового продукту становить 6...9 хв проти 20...25 хв для буряка, що не піддавався обробці.

Технологічна схема одержання швидковідновлюваного сушеного буряка за парового способу його очищення складається з таких операцій: миття сировини – інспектування – парова обробка – очищення в мийно-очисній машині – доочищення – різання – бланшування – обробка 0,5%-им розчином пектину за допомогою душового пристрою – сушіння – інспектування, фасування й упакування.

*Сушіння змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння).* ЗТП-сушіння на сьогодні є альтернативою сублімаційному сушінню. Попередня підготовка сировини не відрізняється від загальноприйнятих операцій для конвективного сушіння. Далі сировина (овочі або картопля) подрібнюється здебільшого у вигляді стружки поперечним перерізом 3×3 або 2×2 мм і розміщується в спеціальних функціональних місткостях (ФМ). Сушіння проводиться в ЗТП-сушарках, у робочих камерах яких розміщуються ФМ із продуктом. Кількість ФМ у робочій камері сушарки визначається заданою продуктивністю. Сушильним агентом є нагріте повітря, що подається в сушильну камеру через електро- або парокалорифер по схемі з рециркуляцією.

Сушені продукти мають високопористу структуру, низький кінцевий вологовміст (5...7%), високу відновлюваність у киплячій воді.

## **6.6. Сушіння фруктів і ягід**

Промислове виробництво сухофруктів із застосуванням технологічного устаткування для підготовки плодів до сушіння й самого сушіння знаходить усе більше поширення в районах розвиненого плодівництва з помірним кліматом. Сушіння забезпечує одержання готових продуктів високої якості.

Якість сушених фруктів значною мірою залежить від товарних і біохімічних властивостей сировини. Однією з основних і загальних вимог, що ставляться до сировини, придатної для сушіння, є високий вміст у ній сухих речовин, цукру й кислот, які забезпечують гарний смак продукту й високі техніко-економічні показники виробництва.

До окремих видів сировини ставляться специфічні вимоги: так, яблука повинні мати м'якоть, що не темніє на повітрі, кісточкові – низький вміст кісточок і великі плоди й ін. Вітамінний, мінеральний склад і забарвлення плодів також є важливими показниками під час оцінки якості сировини, яка використовується для сушіння.

Відомо, що процес конвективного сушіння фруктів найбільш раціонально проводити за температури сушильного агента 60...80° С, за якої біохімічні перетворення перебігають найменш інтенсивно. Доцільно проводити попередню теплову обробку сировини й сульфітацію. У сировині, яка не проходила бланшування або сульфітацію, під активним впливом гідролізуючих ферментів і хімічних каталізаторів (наприклад, водневих іонів) у процесі сушіння змінюється співвідношення між вуглеводами: спочатку зменшується

вміст крохмалю й геміцелюлоз і збільшується вміст цукрів, а потім неминуче відбувається їхня втрата внаслідок розвитку реакцій окиснювання. Частина цукрів при цьому утворює продукти неповного окиснювання, які під час декарбоксилювання переходять в одноосновні кислоти.

У кислому середовищі під час нагрівання утворюються похідні фурфуролу, перебігають цукроамінні реакції, відбувається карамелізація цукрів тощо.

Під час сушіння фруктів разом із парою води видаляються різні леткі речовини: альдегіди, спирти, складні ефіри й інші речовини, що зумовлюють аромат. Крім того, із нелетких кислот, цукрів та інших з'єднань у результаті біохімічних реакцій і хімічних перетворень утворюються й виділяються нові леткі сполуки. Частина амінокислот унаслідок дезамінування може переходити в аміак і леткі альдегіди.

Одночасно із втратами спостерігається часткове збільшення вмісту сухих речовин за рахунок окисних реакцій із приєднанням кисню. Таким чином, загальні втрати маси під час сушіння частково компенсуються.

Плодоовочева промисловість випускає різноманітний асортимент сушених фруктів і ягід: яблука, груші, сливи, абрикоси, персики, виноград, інжир та ін.

*Яблука.* Для сушіння використовують переважно кислі й кисло-солодкі яблука із вмістом сухих речовин не менше 12%. Сировина, призначена для сушіння, не повинна містити плоди биті, гnilі, пошкоджені шкідниками та з іншими дефектами.

Залежно від способу підготовки до сушіння розрізняють такі види сушених яблук культурних сортів: очищені від шкірочки з вилученою насінною камерою й оброблені розчином сірчистої кислоти або обкурені сіркою; не очищені від шкірочки з вилученою насінною камерою й оброблені розчином сірчистої кислоти або обкурені сіркою; неочищені й неопрацьовані.

Під час сушіння яблук, очищених від шкірочки й насінної камери, плоди попередньо калібрують на кілька розмірів, що полегшує очищення яблук машинами. Під час калібрування видаляють дрібні яблука розміром менше 3,5 см, непридатні для виробництва цього виду сушених яблук.

Після сортування за розмірами яблука миють у вентиляторній або барабанній мийній машині, інспектують і подають на очищення. Очищення від шкірочки й видалення серцевини рекомендується проводити на спеціальних машинах. Потім яблука ріжуть на кружки завтовшки 5...6 мм і сульфітують, занурюючи у ванну з 0,15%-им розчином сірчистої кислоти концентрації на 1...2 хв. Після стікання зайвого розчину яблука за допомогою похилого транспортера завантажують у сушарку. Готовий продукт зважують і упаковують у тару. Цим способом можна також сушити груші, айву, абрикоси, сливи й інші фрукти за умови установавання відповідного устаткування для попередньої підготовки сировини.

Під час сушіння в тунельних сушарках плоди після очищення ріжуть на шматочки завтовшки 6...7 мм, сульфітують, витримуючи їх 2...3 год у камерах обкурювання, де спалюється сірка. Обкурені яблука укладають на сита й



установлюють у вагонетки. Сушені яблука з попереднім очищенням і обробкою розчином сірчистої кислоти мають привабливий вигляд, білий колір із кремовим відтінком, яскраво виражений смак і аромат свіжих яблук.

Хімічний склад сушених яблук залежить від їх сорту й місця вирощування. У середньому в них міститься 35...45% цукрів, кислот (у перерахуванні на яблучну) 1,5...4%. Вміст вологи не більше 20%.

*Сливи.* Кращими для сушіння вважаються великі сливи із соковитою м'якотою й дрібною кісточкою, що містять велику кількість сухих речовин.

Сливи для сушіння збирають на стадії технічної зрілості. Сировину, що надійшла на перероблення, сортують за якістю, при цьому видаляють плоди недозрілі, тріснуті й уражені шкідниками, потім їх піддають калібруванню на два розміри, які потім обробляють роздільно. Сливи миють у вентиляторних мийних машинах або під душем. Оскільки плоди сливи мають щільну шкірочку, покриту восковим нальотом, яка затримує випаровування вологи під час сушіння, сировину доцільно піддавати бланшуванню в киплячій воді протягом 20...30 с або в киплячому 0,1%-ому розчині лугу (NaOH) 15...20 с із наступним промиванням у воді. Попереднє бланшування слив значно (на 6 год) прискорює їх сушіння в парових конвеєрних сушарках, тому що під час бланшування шкірочка стає тоншою й покривається сіткою дрібних тріщин, що сприяє інтенсивному випаровуванню вологи. Оброблену таким способом сливу можна висушувати за високої (75...80° С) температури теплоносія спочатку процесу, що у свою чергу сприяє інтенсифікації сушіння без небезпеки розтріскування плодів і втрати ними соку.

Сушіння бланшованих слив проводять у парових конвеєрних сушарках. Тривалість сушіння слив залежить від сорту, розмірів, ступеня зрілості, способу попередньої підготовки, режимів сушіння й ін.

Чорнослив, одержаний за технологічною схемою з попереднім бланшуванням, відрізняється більш високою якістю, ніж висушений без обробки. Сушений продукт, вироблений зі слив сорту Угорка італійська з попереднім бланшуванням, має однорідний чорний колір, блискучу поверхню, відмінний смак і яскраво виражений запах чорносливу.

Технологічний процес сушіння слив у тунельній сушарці організовується в такий спосіб. Сливи сортують за якістю, видаляють нестандартні плоди, потім миють у машині (типу КУМ) із душовим обполіскуванням, інспектують, калібрують за розміром і сушать роздільно. Під час сушіння слив у тунельних сушарках попереднє бланшування плодів не дає помітної інтенсифікації процесу, тому ця операція виключена з технологічної схеми.

Режим сушіння слив залежить від розмірів плодів, ступеня їхньої зрілості, швидкості руху й температури газоповітряної суміші, способу подальшої обробки сушеної сливи.

Сливу сушену випускають двох видів: без заводської обробки, фасовану в пакети з полімерних матеріалів, а також у ящиках та із заводською обробкою. Сушіння вважається закінченим для продукції першої групи за кінцевої

вологості слив 22...25%, а для другої, призначеної для заводської обробки, – 18...20%.

Під час сушіння в тунельній сушарці спостерігається нерівномірне видалення вологи з плодів, розміщених на одному ситі. Ці відхилення можуть становити від 2 до 5%. Недосушені плоди відсортовують і подають на досушування. Для вирівнювання вологості сливи зсипають у бункери, дно й стінки яких повинні бути вистелені чистим і сухим вологонепроникним матеріалом.

Сливи, висушені в тунельних сушарках, відрізняються високими органолептичними показниками: вони мають природний аромат без сторонніх тонів, поверхня плодів блискуча. У сушеному продукті немає підгорілих або деформованих плодів. Під час сушіння на іншому устаткуванні (лозниці, шафова сушарка) втрати від цього виду браку становлять до 2,6%.

Продуктивність тунельних сушарок під час сушіння слив сорту Угорка молдавська 1,6...2,45 т/добу за готовим продуктом.

*Груші.* Для виробництва сушених груш кращими сортами є Ільїнка, Лісова красуня, Вільямс літній, Пляшкова, Балеркуца й ін. Груші повинні бути зібрані на стадії біологічної зрілості, містити не менше 12% сухих речовин (за рефрактометром) і відповідати вимогам діючого стандарту. Сировина, що надійшла на перероблення, повинна зберігатися партіями за помологічними сортами не більше 48 год.

Послідовність технологічних операцій підготовки сировини до сушіння така: груші подають на інспекційний транспортер, де видаляють усі некондиційні, гнілі, недозрілі, уражені шкідниками, плісняві плоди. Миють плоди у вентиляторній мийній машині (КУВ) із душовим обполіскуванням. Промита сировина надходить на стрічковий транспортер, розділений на дві частини для сортування за розміром. Дрібні груші діаметром не більше 55 мм рекомендується сушити в цілому вигляді. Після інспектування й сортування за розмірами груші укладають на окремі вагонетки. Груші діаметром більше 55 мм доцільно різати на половинки або частинки.

Груші ріжуть частинками на машині «Ексцельсіор» (Італія) продуктивністю 200...250 плодів за хв або «Унітекс» (Болгарія). Нарізані плоди збирають у збірник, наповнений 0,1%-им розчином лимонної кислоти або 1...2%-им розчином кухонної солі. Потім їх подають на укладання на сита, які встановлюють на вагонетки. Укладання на одну вагонетку різних за розмірами плодів не допускається.

Сушать груші до вмісту вологи 24%. Дотримання режиму сушіння сприяє рівномірній вологовіддачі по всій товщі плода й перешкоджає утворенню кірки. Правильно висушені груші мають однорідне забарвлення поверхні й еластичну м'якоть.

Зневоднені плоди піддають сортуванню, недосушені відбирають і передають на повторне сушіння. Нормально висушені груші зсипають у бункери для вирівнювання вологості, що триває 10...12 днів.

*Абрикоси.* Під час сушіння абрикосів звичайними способами (тобто після сортування, калібрування й сульфитації) урожай виходить матовим і більш

твердим, ніж під час сушіння на сонці. Щоб додати готовому продукту прозорість, властиву урюку, висушеному на сонці, дрібні абрикоси перед сульфитацією бланшують парою 2 хв за температури 95...98° С, а великі – 3...4 хв. Для збереження смаку й натурального кольору абрикосів плоди до сушіння сульфитують розчинами сірчистої кислоти або бісульфіту натрію. Бланшування розм'якшує шкірочку плода й робить його більш доступним впливу сульфитуючих розчинів. У небланшованих сушених абрикосах, які до сушіння сульфитували протягом 2 хв 0,2%-им розчином сірчистої кислоти, не міститься SO<sub>2</sub>, а в сушених абрикосах того ж сорту, бланшованих до сушіння протягом 2 хв парою і сульфитованих, міститься 0,002% SO<sub>2</sub>. У сушених бланшованих абрикосах, сульфитованих 5...6 хв 0,5...0,6%-им розчином сірчистої кислоти, міститься 0,01% сірчистої кислоти (норма, передбачена ДСТУ). Щоб одержати готовий продукт із таким вмістом SO<sub>2</sub> під час використання розчинів бісульфіту натрію таких самих концентрацій (у перерахуванні на SO<sub>2</sub>), тривалість обробки необхідно збільшити до 8...10 хв.

Абрикоси після сульфитації направляють на сушіння. Тривалість сушіння абрикосів у цілому залежить від сорту, розміру плодів, способу підготовки їх до сушіння й коливається від 7 до 15 год.

Найбільша тривалість проходження стрічок через сушарку ПКС-20 становить 5,5 год. Щоб збільшити тривалість перебування продукту в сушарці до 8 год, необхідно зменшити швидкість руху стрічок. Щоб висушити дрібні абрикоси до стандартної вологості 18%, їх пропускають через сушарку один раз, а великі – двічі або сушать послідовно у двох сушарках.

*Вишня й черешня.* Кращими сортами вишні для сушіння є Шпанка пізня, Володимирська, Лотова й ін. Для виробництва сушеної черешні рекомендуються сорти Суслена, Одеська чорна, Наполеон рожевий й ін. Для сушіння придатні плоди, які досягли біологічної зрілості, із вмістом сухих речовин не менше 15%. Плоди повинні бути свіжими, не пошкодженими сільськогосподарськими шкідниками й хворобами. Сировину, що надійшла на перероблення, зберігають партіями за помологічними сортами не більше 12 год.

Вишні й черешню подають на інспекційний транспортер, на якому проводять видалення некондиційних плодів, листків, гілочок і сторонніх предметів. Плоди миють у вентиляторній мийній машині марки КУВ, після чого вони надходять на машину для відривання плодоніжок.

Промиту, звільнену від плодоніжок сировину направляють у тунельні сушарки. Бланшування вишні перед сушінням сприяє кращому збереженню її кольору, зменшенню втрат цукрів і амінокислот, дозволяє підвищити температуру теплоносія в перший період сушіння до 100...120° С і скорочує тривалість процесу до 4,7...5 год.

Під час сушіння вишень і черешень у тунельній сушарці підготовлені плоди розкладають на сита в один ряд. Візки з плодами завантажують у тунель. Спочатку в сушарку вводять по 2 візки через годину до 12 візків, потім щогодини по одному візку. Сушіння вишень і черешень проводиться до досягнення вологості в продукті 19%.

*Ягоди.* Для сушіння використовують ягоди культурних сортів і дикорослі. Сушать суницю, малину, чорну смородину, агрус, чорницю, ожину, горобину й ін.

Ягоди сортують за якістю, видаляючи при цьому гnilі, зелені, переспілі, м'яті плоди, сторонні домішки й плодоніжки. Малину й ожину очищають від квітконіжок.

Відсортовані ягоди миють під душем або у ваннах із чистою водою шляхом дво- або трикратного занурення решет із ягодами у воду. Після миття ягоди залишають на 5...10 хв для стікання води, потім рівним шаром настиляють на сита й сушать, дотримуючись такого режиму: питоме навантаження на сито 5...8 кг/м<sup>2</sup>, температура повітря 54...55° С, тривалість сушіння 8...12 год, кінцева вологість продукту 18...19%.

*Виноград.* Технологічна схема виробництва сушеного винограду (ізюму) із застосуванням тунельних сушарок включає такі операції. Ящики із сировиною з автомашини за допомогою електронавантажувача завантажують у ящикоперекидач, потім сировина надходить у мийну машину. Після інспектування на стрічковому транспортері виноград уручну розкладають на піддони, які встановлюють на вагонетку.

Вагонетка із сировиною надходить у камеру обкурювання (у разі сушіння винограду з білим забарвленням), де вона обробляється сірчистим ангідридом (вміст SO<sub>2</sub> 0,06...0,08%). Обкурений виноград завантажують у тунельну сушарку.

Після сушіння продукт транспортером надходить у машину для відділення гребенів, потім на інспекційно-сортувальний транспортер. Готовий ізюм зважують і фасують у тару.

Сушіння винограду кишмишних сортів із використанням сушарок СКО-90 здійснюють за такою схемою. Виноград інспектують, при цьому видаляють сторонні домішки (землю, камені та ін.), пошкоджені, нестандартні, гnilі ягоди. Великі грона розділяють на дрібні, потім подають на миття. Миють виноград у вентиляторних або мийних машинах інших конструкцій у проточній питній воді за співвідношення продукту й води 1:3. Для запобігання потемніння Кишмиш білий піддають сульфитації.

Підготовлений виноград сушать за такими режимами: завантаження 5 кг/хв, питоме навантаження на першу стрічку 36 кг/м<sup>2</sup>, температура повітря, що надходить у сушарку, 80...85° С, відносна вологість повітря 28...30%, витрата повітря 17,7...18 тис. м<sup>3</sup>/год, тривалість сушіння 720 хв, кінцева вологість сушеного продукту 16...18%. Сушений виноград інспектують, видаляючи недосушені й потемнілі ягоди та ягоди з іншими дефектами. Недосушені ягоди надходять на досушування.

Висушений виноград надходить на видалення плодоніжок, гребенів і гілок, що здійснюють у два етапи: спочатку на сировинній площадці шляхом відвіювання, а потім на машинах. Для видалення металевих домішок сушений виноград пропускають через магнітні огорожі, потім продукт надходить на фасування й упакування.

## 6.7. Сортування, упакування й зберігання готової продукції

*Сортування* сушених овочів, картоплі й фруктів проводять відразу ж на виході їх із сушарки на сорти відповідно до вимог діючих стандартів. Цю операцію здійснюють на стрічкових транспортерах або на столах за умови задовільного освітлення.

У процесі сортування відбирають шматочки продукту із залишками шкірочки, підсмажені, із темними плямами, а також із залишками вічок (у картоплі), денець (у цибулі), пластинок качанів (у капусти), із прозеленню (у моркви), деформовані, роздуті плоди та ін. Наявність у готовій продукції цих шматочків погіршує її якість і знижує сортність. Одночасно відбирають недосушені шматочки або плоди, які направляють на досушування. Вологість сушених овочів і фруктів під час виходу із сушильної установки повинні систематично перевіряти працівники заводської лабораторії.

Для відділення дріб'язку (частинок розміром менше 5 мм) сушені продукти пропускають через сито-трясун, після чого з них видаляють можливі домішки заліза. Для цього застосовують підковоподібні магніти, що збираються в секції, нерухливі або обертові магнітні сепаратори. Магнітні сепаратори забезпечують гарне вловлювання й автоматичне видалення з магнітного поля заліза. Подача сушених продуктів на магніти повинна бути рівномірною. Домішки заліза з поверхні нерухливих магнітів потрібно вчасно видаляти, оскільки вони можуть відноситися сушеним продуктом.

Сортування сушених овочів проводиться вручну і є досить трудомісткою операцією, пов'язаною зі значними витратами праці, особливо під час сортування овочів, нарізаних кубиками.

На багатьох овочесушальних заводах встановлені фотоелектронні автомати англійської фірми «Сортекс» для сортування сушених овочів і картоплі, нарізаних кубиками.

Сортування сушених продуктів (картоплі, моркви й ін.) на цих автоматах здійснюється таким чином. Сушена картопля, нарізана кубиками, через відкриту заслінку завантажується в бункер, звідки вібролотоком подається на транспортер. Під час зсипання з вібролотока на транспортер кубики лягають в один ряд у спеціальну борозну в стрічці транспортера. На кінці транспортера вони скидаються й, пролітаючи через фотометричну камеру, проглядаються з чотирьох сторін фотоелементами. Навпроти кожного фотоелемента встановлене тло, що відповідає забарвленню продукту, який сортується. У разі невідповідності забарвлення продукту встановленому тлу фотоелементи подають сигнал, відкривається соленоїдний клапан і струмінь стисненого повітря, що виходить із сопла, відхиляє забракований кубик, викидаючи його в ринву для браку. Кубики сушеної картоплі, що не мають залишків шкірочки й вічок, чорних і сірих плям, направляються в ринву для стандартного продукту.

Підбираючи відповідне тло, можна забезпечити дуже гарне сортування, що запобігає потраплянню кубиків сушеної картоплі з будь-якими дефектами в готову продукцію. До комплекту з чотирьох фотоелектронних сортувальних

автоматів уходять вентилятор для видалення пилу й компресор, що забезпечує подачу стисненого повітря на соленоїдний клапан.

Проінспектовані, розсортовані за якістю сушені овочі й фрукти надходять на фасування й упакування.

*Брикетування.* Під час сушіння овочів і фруктів маса їх зменшується на 70...80%, проте вони займають значний об'єм, тому під час упакування витрачається багато тари, а для зберігання сушеної продукції потрібні значні складські площі. Брикетування сушених овочів і картоплі дозволяє значно зменшити їх об'єм, при цьому в кілька разів скорочується витрата тари порівняно з упакуванням їх розсипом.

Під час брикетування продукти значно ущільнюються, картопля, наприклад, у 3,5 рази, буряк і морква – у 4...4,8, а капуста – у 8,8.

Брикетування сушених овочів здійснюється на гідравлічних пресах і є порівняно нескладною операцією. Проте одержання брикетів із сушеної картоплі супроводжується значними труднощами. У холодному стані шматочки сушеної картоплі мають підвищену крихкість. Під час найслабшого стиснення такої картоплі основна маса її (50...60%) перетворюється в крихту.

Для додання сушеної картоплі гнучкості, еластичності й здатності міцно брикетуватися її необхідно попередньо підігрівати до 40...42° С в умовах, що виключають зміну вихідної вологості.

Підготовка сушеної картоплі до брикетування здійснюється в установці, що складається з камери, у якій продукт підігрівається теплим кондиціонованим повітрям, і кондиціонера, що підготовлює повітря необхідних параметрів. Підготовлену сушену картоплю негайно передають на брикетування.

Для брикетування використовують лише гідравлічні преси, тому що на них можна одержати досить щільні великі брикети масою не менше 1 кг; у цих пресах можна регулювати тиск і здійснювати обігрівання матриці, що дуже важливо для одержання брикетів із мінімальним подрібнюванням сушеної картоплі.

Сушені овочі брикетують як за видами, так і у вигляді суміші (борщ, суп картопляний та ін.). Режим брикетування залежить від виду сушених овочів або їх суміші, вологості й способу підготовки до пресування.

Сушені овочі зі вмістом вологи 13...14% мають більш гнучку еластичну консистенцію, тому брикетування їх проводять без попереднього підігрівання на гідравлічних пресах із матрицею, що не обігрівається, за таким режимом: питомий тиск пресування (у МПа): для цибулі – 1,5; для моркви – 4; для буряка, капусти, білих коренів і зелені – 5; витримування під тиском 30...60 с.

Сушена картопля й суп картопляний перед брикетуванням підігрівають, потім брикетують за питомого тиску 7,5...10 МПа, витримування під тиском 30...60 с, температури нагрівання матриці 60...70° С. Борщ брикетують за питомого тиску 5 МПа, витримування під тиском становить 45...60 с. Сушені овочі зі зниженим вмістом вологи (6...8%) тендітні й ламкі, тому їх перед брикетуванням, як і картоплю, підігрівають.

Брикети на виході з преса повинні мати правильну форму, рівномірну товщину, рівні поверхні без обламаних граней. Брикети повинні зберігати свою форму під час загортання в папір, укладання в тару й перевезення, вони мають легко розминатися під час приготування з них страв. Щоб уникнути погіршення якості сушених овочів у процесі зберігання, брикети перед загортанням охолоджують до температури 20° С.

Нерідко виникає необхідність використання сушених овочів у насипному вигляді (під час виробництва харчових концентратів та ін.). У цьому разі для скорочення витрати тари доцільно застосовувати вібратори, що роблять зворотно-поступальний рух зі швидкістю 300 коливань за хвилину ущільнюючи продукт.

*Упакування.* Упакування сушених овочів, картоплі й фруктів проводять для того, щоб захистити їх від впливу зовнішнього середовища (зволоження або підсихання, зараження або ушкодження комахами тощо).

Найбільш досконалим видом тари для сушених продуктів є герметичні металеві банки. Ця тара міцна, тверда, непроникна для води, пари й газів, хімічно нейтральна, не має запаху. Банки можна закупорювати на машинах із вакуумуванням (відкачуванням повітря) і наступним заповненням інертним газом або без заповнення.

Металева тара забезпечує герметичність і міцність упаковки й зберігає продукт від ушкодження комірними шкідниками. Проте жерсть – дорогий і дефіцитний матеріал, тому останнім часом замість неї стали широко застосовувати різні види гнучкої тари: картон із термопластичним покриттям і багатошарові ламіновані пакувальні плівки. М'яка тара може застосовуватися як під час великого, так і дрібного фасування. Основні матеріали для виготовлення м'якої тари: папір, картон, целофан і поліетилен.

Папір і картон відрізняються паро- і газопроникністю. Вони нестійкі проти зволоження й механічних впливів, тому упаковка сушених продуктів у паперову тару застосовується лише під час короткочасного зберігання й у багатошарові (чотири- або шестишарові) мішки. Більшою міцністю й меншою газо- і паропроникністю характеризуються багатошарові паперові мішки, у яких шари паперу склеєні бітумом або покриті тонким шаром поліетилену.

Целофан непридатний для фасування сушених овочів, але покритий тонким шаром поліетилену, тому він набуває деяку міцність і здатність до термозварювання, завдяки чому плівку, яку називають віскотеном або ПЦ, можна застосовувати під час фасування продуктів на автоматах.

Поліетилен отримав широке застосування під час виробництва пакувальних плівок. Як велику тару для фасування сушених продуктів використовують поліетиленові мішки, які піддають термозварюванню. Сушені овочі, фасовані в поліетиленові мішки, підлягають упаковуванню в зовнішню тару – гофровані картонні коробки, дерев'яні ящики або фанерні барабани та ящики.

Способи упаковки залежать від вмісту вологи в сушеному продукті та його гігроскопічності. Продукти, виготовлені для тривалого зберігання, зі зниженим вмістом вологи, а також гігроскопічні, упаковують у герметичну

тару – металеві банки або мішки з термозварюваних матеріалів із наступним укладанням їх у тверду зовнішню тару. Упакування продуктів у картонні коробки, покриті всередині поліетиленом або іншим полімерним матеріалом, проводять на пакувальних автоматах.

Сушені овочі й фрукти надходять на фасування в тару відразу після сортування й видалення з них металевих домішок.

Відповідно до діючого Держстандарту небрикетовані сушені овочі упаковують у фанерні ящики або барабани, які повинні бути також міцними, щільними, сухими, чистими. Перед укладанням продукту тару вистилають зсередини обгортковим і пергаментним або парафінованим папером. Вільні кінці паперу повинні закривати продукт зверху й перекриватися на ньому у вигляді конверта. Укладають сушені овочі в тару щільно до верхніх країв так, щоб у ній не залишалось вільного місця. У кожен таку одиницю упакування вкладають ярлик із вказівкою найменування й сорту продукту, дати виготовлення й контрольного номера укладальниці.

На етикетках пакетів, банок і брикетів указують найменування підприємства або його товарний знак, найменування й сорт продукту, спосіб уживання, масу нетто, строк зберігання, дату виробництва, роздрібну ціну.

На зовнішній (транспортній) тарі повинен бути наклеєний ярлик із вказівкою найменування підприємства, найменування й сорту продукту, дати виробництва, маси нетто й брутто, числа пакетів, коробок або брикетів, порядкового номера тари, ДСТУ і напис: «Зберігати в сухому прохолодному дезінсекційному приміщенні». На ярликах для сушених овочів зі зниженою вологістю вказують їх вологість.

*Зберігання.* Упаковані сушені овочі й фрукти надходять на склад.

Зазвичай сушені овочі, картопля й фрукти використовуються після більш-менш тривалого зберігання. Тому дуже важливо, щоб якість їх зберігалася протягом тривалого часу. У сушених овочах, картоплі і фруктах під час зберігання відбуваються фізико-хімічні зміни, які викликають зниження якості продукту.

У процесі зберігання в сушених продуктах змінюється колір, світлозабарвлені продукти темніють. Забарвлення їх змінюється від кремового до коричневого. Одночасно погіршуються смак, запах і набухання, збільшується тривалість відновлення під час кулінарної обробки, зменшується вміст вітамінів тощо. Один з основних показників псування сушених овочів і фруктів – потемніння їх у результаті неферментативних реакцій, що перебігають під час зберігання.

Основними чинниками, що впливають на якість і стійкість сушених овочів і фруктів під час зберігання, є хімічний склад сировини, способи підготовки її до сушіння, режими сушіння, вміст вологи в готовому продукті й умови зберігання.

Для лежкостатності сушених продуктів дуже важливо, щоб картопля, овочі й плоди, що надходять на сушіння, були досить зрілими, здоровими, без механічних ушкоджень.



Із підготовчих процесів велике значення для подальшого зберігання сушених продуктів має правильне бланшування сировини. Інактивуючи окисні ферменти, бланшування сприяє кращому збереженню сушеного продукту. Сульфитація сировини впливає на краще збереження кольору й вітаміну С.

Процеси псування сушених овочів і фруктів уповільнюються за відсутності доступу повітря, зниженої вологості сушеного продукту й низької температури повітря. Тому овочі й картопля, призначені для тривалого зберігання, повинні мати знижену вологість (4...8%) і фасувати їх необхідно в герметичну тару. Для подовження строків зберігання їх потрібно зберігати за якомога нижчої температури. Установлено, що сушені овочі й фрукти стійкі під час зберігання, якщо температура повітря не перевищує 10° С. За температури зберігання вище 20° С і вмісту вологи 12...14% (картопля й овочі) і 28...25% (фрукти) процес псування прискорюється. Тому гранично допустимою температурою зберігання сушених овочів і плодів є температура 20° С.

Якість сушених продуктів може погіршитися також унаслідок ушкодження їх мікроорганізмами й комахами. Велике значення для зберігання сушених овочів і фруктів має відносна вологість повітря. Сушені овочі, картопля й фрукти мають суттєву гігроскопічність, тому під час зберігання у вологому приміщенні вони легко можуть зволожитися до межі, за якої настає швидке псування їх унаслідок розвитку дріжджів, цвілі, бактерій. У зв'язку з цим під час зберігання овочів і картоплі в негерметичній тарі відносна вологість повітря в складах повинна бути не більше 75%, під час зберігання овочів у герметичній тарі – не більше 85%. Для зберігання сушених плодів рекомендується відносна вологість повітря в приміщенні близько 70%.

Деякі сушені овочі (морква, буряк, капуста) змінюють свій натуральний колір (знебарвлюються) і набувають нового (бурий, сірий та ін.) під впливом сонячного світла. У зв'язку з цим перераховані овочі варто зберігати в затемненій тарі.

Сушені овочі й фрукти зберігають на спеціальних складах. Приміщення повинні бути вогнестійкими з цементними й асфальтовими підлогами, що виключають можливість розмноження гризунів і комірних шкідників. У зовнішніх дверей складу повинні бути утеплені тамбури. У разі виявлення зараженості варто провести дезінсекцію.

Складування сушених продуктів проводять за видами продукції й строками її надходження. Продукцію укладають штабелями на сухі й чисті стелажі. Для кращого провітрювання бруси стелажів мають напрямок, паралельний потоку повітря під час вентилявання. Відстань між стележем і підлогою повинна бути не менш 10 см, а проходи між стінами складу й штабелями, а також між окремими штабелями – не менше 0,7 м, щоб був доступ штабелеукладачу до кожного штабеля.

У складах необхідно регулярно проводити сухе прибирання. Миття підлог у завантажених складах не дозволяється. Під час прибирання штабелі вкривають чистою мішковиною, тканиною або папером, щоб уникнути осідання пилу на продукцію. Боротися з гризунами необхідно лише

механічними засобами. Застосування хімічних засобів або принад з отрутами не допускається.

Режим зберігання сушених овочів і фруктів характеризується двома параметрами: температурою й відносною вологістю повітря в приміщенні складу. Розрізняють склади з нерегульованим і регульованим режимами. До останнього належать склади, обладнані кондиціонерами та холодильниками, які дозволяють підтримувати в складських приміщеннях необхідний режим. Будівництво складів із регульованим режимом обходиться дорого. Тому зберігання в таких складах застосовується лише там, де це необхідно, наприклад, у південних районах із жарким кліматом.

Як правило, сушені овочі й фрукти зберігають у сухих, добре вентильованих складах із нерегульованим режимом. У цих умовах вирішальним параметром є температура повітря. Підтримування якомога нижчої температури досягається періодичним вентиляванням приміщення в холодний час доби за низької відносної вологості зовнішнього повітря. Крім того, під час зберігання необхідно запобігати зволоженню сушених продуктів у осінній і весняний періоди, а також правильно розміщати штабелі й нормально завантажувати склад.

Для контролю температури й відносної вологості повітря в складах слугують термометри й психрометри. Їх розміщують у різних місцях приміщення на висоті 1,5 м від підлоги. Показання приладів знімають 2 рази на добу (о 8 і 17 годині) і записують у журнал.

Строки зберігання сушених картоплі, овочів і їхніх сумішей на складах із нерегульованим режимом наведено в табл. 6.6.

**Таблиця 6.6 – Терміни зберігання сушеної картоплі, овочів і їхніх сумішей**

Продукт	Термін зберігання за умови упакування в тару (міс.)		
	негерметичну (ящики, барабани, паперові мішки)	Герметичну (жерстяні банки) за вологості	
		понад 8%	до 8%
Картопля сушена	12	15	30
сушена, попередньо оброблена бісульфітом натрію	–	–	36
Морква столова сушена	12	18	24
Буряк столовий сушений	12	18	30
Цибуля ріпчаста сушена	12	16	24
сушена, попередньо оброблена бісульфітом натрію	–	–	30
Капуста білокачанна сушена	6	8	12

сушена, попередньо оброблена бісульфітом натрію	–	–	15
Горошок зелений сушений	26	–	–
Білі коріння сушені	12	16	24
Зелень сушена	8	12	18
Суміші сушених овочів:			
борщ	9	–	20
суп картопляний	12	–	30
Часник	–	–	24

## 6.8. Якість сушених овочів і фруктів та технохімічний контроль виробництва

### 6.8.1. Якість сушених овочів і фруктів

Сушені картопля, овочі й фрукти за своїми якісними показниками повинні відповідати вимогам діючих ДСТУ. Об'єктами державної стандартизації є не тільки готові продукти, але й методи їх аналізу (відбір зразків і органолептичні, технічні й фізико-хімічні дослідження), правила фасування, упакування, транспортування й зберігання.

Однією з вирішальних умов, що забезпечують випуск сушених овочів, картоплі й фруктів високої якості, є також діючий технохімічний контроль.

Правильно організований технохімічний контроль дозволяє знизити втрати й відходи у виробництві, а також допомагає виявити й вчасно усунути недоліки в проведенні технологічних процесів.

*Сушені овочі й картопля.* За діючою нормативною документацією сушені овочі й картоплю випускають розсипом або в брикетах (крім зеленого горошку й часнику) вологістю не більше 12% для сушеної картоплі, 14% для овочів нетривалого строку зберігання й не більше 8% із наступним упакуванням у герметичну тару для тривалого зберігання. Залежно від якості готова продукція розподіляється на два сорти: I і II. Горошок зелений сушений виробляють вищого і I сорту.

Показниками якості, що характеризують харчові властивості й кулінарні переваги сушених овочів і картоплі, є хімічний склад (вміст вуглеводів, білків, жирів, вітамінів, мінеральних речовин), розварюваність, набухання і вміст водорозчинних речовин, а також колір, смак, запах і консистенція приготованих із цих продуктів страв.

Сушені овочі й картопля повинні розварюватися під час приготування страв не більше ніж за 25 хв за умови зберігання їх до 12 міс. У разі більш тривалого зберігання розварюваність сушених овочів і картоплі збільшується до 35...45 хв. У сушених продуктах не допускаються сторонні смак і запах, наявність комірних шкідників і слідів їх життєдіяльності, сторонніх, металевих і мінеральних домішок, а також окалин. Вміст сірчистої кислоти в перерахуванні на сірчистий ангідрид допускається (у %, не більше): у сушених картоплі й моркві – 0,04, у сушеній капусті – 0,06, у сушеній цибулі – 0,05.

Важливим показником якості сушених овочів і картоплі є стійкість під час зберігання. Оскільки сушені овочі використовують після більш-менш тривалого зберігання, дуже важливо, щоб їх якість зберігалася протягом тривалого часу.

Безпосередньо після сушіння овочі й картопля мають, цілком задовільні органолептичні, кулінарні й фізико-хімічні показники. Проте після нетривалого зберігання за помірної температури, наприклад, сушеної капусти – 3 міс, сушених картоплі, моркви, буряка – 12 міс, якість їх різко змінюється. У першу чергу змінюється колір, він стає коричневим. Одночасно погіршуються смак, запах, набухання, збільшується тривалість відновлення до готової страви. За підвищеної температури зберігання (25...30° С) якість сушених овочів і картоплі погіршується ще швидше внаслідок прискореного перебігу фізико-хімічних процесів, що призводять до псування.

До основних чинників, що призводять до погіршення якості сушених овочів і картоплі, належать: зміна якості в результаті ферментативних реакцій, що перебігають у продукті, особливо під час підготовки його до сушіння; неферментативні зміни в процесі сушіння й зберігання сушених продуктів у результаті цукроамінних реакцій; окисні процеси, пов'язані з дією кисню.

Серед реакцій неферментативного характеру основну роль відіграють реакції між речовинами, що містять глюкозу, фруктозу, ксилозу, аскорбінову кислоту й інші, та амінокислотами. У результаті цих реакцій утворюються темнозабарвлені сполуки, що мають загальну назву «меланоїдини».

Зі збільшенням концентрації речовин, які беруть участь у цих реакціях, прискорюються процеси потемніння продукту. Тому продукти найчастіше темніють під час сушіння й концентрування. Ці процеси перебігають за різних температур, але особливо прискорюються під час зберігання сушеного продукту в умовах підвищеної температури, і, навпаки, під час зберігання сушеного продукту в умовах зниженої температури вони можуть бути практично припинені. За активної кислотності (рН) вище 7 (у лужному середовищі) ці реакції перебігають швидко, але вповільнюються в нейтральному середовищі. У дуже сухих продуктах і в розведених водяних розчинах цукри й амінокислоти взаємодіють дуже повільно. Картопля, висушена до вологості 6...7%, у 3 рази довше не змінюється під час зберігання, ніж картопля вологістю 11...12%.

Окисне псування (прогіркання) сушених овочів і картоплі викликають реакції окиснювання жирів, що містяться в них, киснем повітря. Інтенсивність цих реакцій помітно зростає зі збільшенням вологості сушеного продукту. За відсутності кисню прогіркання жирів не спостерігається.

Зберігання сушених овочів і картоплі в середовищі інертного газу може значно зменшити окиснювання жиру в продукті.

*Сушені фрукти.* Сухофрукти повинні мати властиві їм у свіжому вигляді смак і запах. У сушених фруктах і ягодах не допускається наявність стороннього присмаку й запаху; цвілі, видимої неозброєним оком; ознак спиртового шумування; плодів, що загнили, або їхніх шматочків; комах-

шкідників, їхніх личинок і лялечок; металодомішок і піску, що відчувається органолептично. Вміст SO<sub>2</sub> повинен бути не більше 0,01%.

Розміри й форма плодів і ягід або їхніх частин, а також вміст вологи, допустимої кількості крихти й залишків плодоніжок нормуються діючими нормативними документами.

### 6.8.2. Технохімічний контроль виробництва

Під час сушіння картоплі, овочів і фруктів необхідний систематичний контроль сировини, технологічного процесу й сушеного продукту. Правильний контроль приймання й зберігання сировини сприяє скороченню втрат і поліпшенню якості готового продукту. Якість сировини встановлюють під час її заготівлі, при цьому керуються стандартами.

Контроль за режимом зберігання сировини, призначеної для сушіння, сприяє скороченню втрат у вигляді так званого природного збитку й підморожених, загнилих, запарених та інших відходів. Під час зберігання картоплі, овочів і фруктів співробітники заводської лабораторії стежать за їх станом, вимірюють температуру й відносну вологість повітря в сховищах і встановлюють черговість перероблення окремих партій залежно від їх стану.

Під час надходження сировини в цех лаборанти проводять технічний аналіз. При цьому визначають товарний сорт і кількість нестандартного продукту (механічно ушкодженого, підгнилого, підмороженого, ушкодженого шкідниками тощо). Одночасно аналізують вміст сухих речовин або вологи в кожній партії. Чим менше вологи в сировині, тим більший вихід готової продукції, тим менші витрати сировини на 1 т готового продукту.

Вміст вологи в сировині визначають висушуванням навішення в сушильній шафі до постійної маси або спеціальним приладом – вологоміром ВЧ.

Витрати сировини залежать також від кількості відходів, що виходять під час підготовки її до сушіння. Тому під час виробництва сушених овочів і фруктів необхідно визначати кількість відходів.

Знаючи вміст сухих речовин або вологи в сировині й готовій продукції (за стандартом) і кількість відходів, що виходять у процесі її підготовки, можна до сушіння або під час сушіння визначити її вихід і витрати в тоннах на 1 т готового продукту.

$$x = \frac{100C_2}{(100 - A)C_1},$$

де  $x$  – витрата сировини, т на 1 т сушеного продукту;

$C_2$  – вміст сухих речовин у готовій продукції, %;

$A$  – сума відходів і втрат сировини, %;

$C_1$  – вміст сухих речовин у підготовленій сировині, %.

Контроль технологічного процесу в цехах необхідний для одержання високоякісного продукту за мінімальних витрат сировини, палива, електроенергії та робочої сили. При цьому перевіряють якість миття, очищення, доочищення, різання, бланшування, сушіння, сортування, упакування, уточнюють втрати й відходи сировини, вихід готової продукції та інші показники, контролюють санітарний стан устаткування, інвентарю й робочих місць.

Під час миття, інспектування й калібрування сировини контролюють ретельність виконання цих операцій. Для цього відбирають із різних місць середню пробу масою 2...3 кг і уважно її оглядають, перевіряючи, чи немає ушкоджених, загнилих або з іншими дефектами екземплярів. Ретельність промивання сировини можна також установити шляхом дво- або трикратного занурення відібраної проби в посудину з чистою водою. Наявність осаду вказує на погане миття.

Для того щоб установити, чи добре сировина відкалібрована за розмірами, необхідно бульби, коренеплоди або плоди виміряти штангенциркулем у найбільшому діаметрі.

Під час очищення сировини стежать за ретельністю проведення процесу – перевіряють параметри режиму, якість очищення й кількість відходів. Періодично перевіряють також дотримання режимів бланшування (температуру й тривалість), якість доочищення, кількість дріб'язку під час різання.

Під час сушіння встановлюють постійний контроль за рівномірністю настилу продукту по всій робочій поверхні сіток і за режимом зневоднювання (температура й відносна вологість вхідного й відпрацьованого повітря, тривалість процесу), а також за рівномірністю висушування. Після закінчення сушіння в готовій продукції шляхом аналізу визначають вміст вологи.

Заводська лабораторія стежить за правильністю сортування, упакування, маркування й зберігання сушених овочів і фруктів, за дотриманням технологічних інструкцій і санітарним станом на виробництві.

Під час зберігання готової продукції й перед її відправленням за середньою пробкою встановлюють її якість. Відбір зразків, виділення проб і визначення якості проводять за методиками, викладеними у діючих ДСТУ. У сушених овочах і фруктах визначають зовнішній вигляд, колір, консистенцію, смак і запах, форму й розмір плода або його частин, дефекти, розварюваність, коефіцієнт набухання, вологість, вміст металодомішок, піску й сірчистого ангідриду, а також зараженість комірними шкідниками.

Результати технологічного контролю заносять у журнали. За результатами аналізів лабораторія заводу на кожну відвантажену партію готової продукції видає посвідчення, що є основним документом про якість реалізованої продукції. У разі виявлення відхилень від вимог технологічних інструкцій, стандартів і санітарних правил працівники лабораторії разом із цеховим персоналом негайно вживають заходів для їх усунення. Працівники лабораторії зобов'язані також проводити попереджувальні заходи, що виключають можливість таких відступів. Крім сировини, напівфабрикатів і готової продукції, заводська лабораторія контролює якість води, тари й

допоміжних матеріалів, стежить за дотриманням норм витрат. На виробництві всіх видів сушених овочів, картоплі й фруктів установлені норми витрат сировини, відходів і витрат на всіх стадіях технологічної обробки. Норми витрат сировини розраховані на стандартну, кондиційну сировину без утворення в процесі роботи зайвих відходів.

Дотримання вимог і режимів виробництва, комплексне використання сировини (наприклад, дрібної картоплі й відходів виробництва для вироблення крохмалю), облік сировини й готової продукції не тільки за масою, але й за сухими речовинами сприяють зниженню витрат, що важливо для забезпечення рентабельної роботи овочесушильного підприємства.

### Контрольні запитання

1. У чому полягає суть консервування рослинної сировини методом сушіння?
2. Які хімічний склад і поживна цінність овочів, картоплі й фруктів?
3. Яким технологічним вимогам повинна відповідати сировина, призначена для сушіння?
4. Як змінюється рослинна сировина та які властивості вона повинна мати для одержання високоякісного сушеного продукту?
5. Які способи зберігання овочів і картоплі Ви знаєте?
6. Які режими (температура, відносна вологість повітря й склад газового середовища) зберігання картоплі, овочів і плодів?
7. Які процеси попередньої обробки картоплі, овочів і фруктів Ви знаєте?
8. Які вимоги ставляться до якості сировини під час приймання?
9. Які існують засоби доставки сировини з буртового поля й зі сховищ у виробничий цех? Які механізми застосовують для внутрішньоцехового транспортування сировини й для передачі її з однієї технологічної операції на іншу? Як вони влаштовані та як діють?
10. Для чого миють сировину і як визначають якість миття?
11. Які будова та принцип дії лопатевих барабанних, вібраційно-мийних, вентиляторних, елеваторних і струшувальних мийчих машин?
12. Для чого проводять сортування й інспектування сировини? Що таке калібрування овочів і фруктів і як воно здійснюється?
13. Із якою метою проводять очищення сировини?
14. Назвіть існуючі способи очищення картоплі, овочів і фруктів.
15. Розкажіть про парове очищення картоплі й овочів, а також будову та принцип дії устаткування, що для цього застосовується.
16. Як проводиться оброблення картоплі й коренеплодів за пароводотермічним способом очищення й бланшування сировини? Як влаштовані й працюють агрегати для здійснення цих процесів?
17. Охарактеризуйте хімічний (лужний) спосіб очищення картоплі, овочів і фруктів та будову барабанної установки.
18. У чому полягає суть механічного способу очищення картоплі? Які переваги й недоліки цього способу й застосовуваних машин?

19. Розкажіть про методи очищення цибулі й застосовуване устаткування.
20. Як здійснюється доочищення картоплі й овочів, як попередити потемніння очищеної картоплі та як працює конвеєр доочищення?
21. Із якою метою проводять різання сировини? Як влаштовані й працюють дискові коренерізки, машини з ножами, закріпленими на каретці, і комбіновані коренерізки?
22. Що таке бланшування? Для яких цілей його проводять і на яких апаратах?
23. Якими способами можна попередити або зменшити ступінь зміни забарвлення сушених продуктів?
24. Розкажіть про процес оброблення плодоовочевої сировини сульфідними розчинами.
25. Яка залишкова кількість  $SO_2$  допускається за діючими нормами в сушених овочах, картоплі й фруктах?
26. Із яких технологічних процесів складається виробництво сушеної картоплі?
27. Охарактеризуйте процеси виробництва сушених овочів (коренеплодів, цибулі, капусти, зеленого горошку, пряної зелені й ін.).
28. Які існують способи сушіння овочів і картоплі до зниженої вологості?
29. Які Ви знаєте способи одержання сушених швидковідновлюваних картоплі й овочів?
30. Розкажіть про підготовку фруктів до сушіння, охарактеризуйте режими їх сушіння в різних сушарках.
31. Із якою метою, коли і як проводять сортування сушених овочів, картоплі й фруктів?
32. Яким чином проводиться магнітне очищення сушених продуктів?
33. Розкажіть про підготовку сушених картоплі й овочів до брикетування.
34. Які вимоги ставляться до таропакувальних матеріалів для сушених овочів і фруктів?
35. Як упаковують сушені овочі розсипом і в брикетах?
36. Які зміни відбуваються в сушених овочах, картоплі й фруктах у процесі зберігання?
37. Якими параметрами характеризується режим зберігання? Що впливає на стійкість сушених продуктів під час зберігання?
38. Які вимоги ставляться до складів?
39. Які строки зберігання сушених овочів, картоплі, пряної зелені тощо в складах із нерегульованим режимом?
40. Яким вимогам повинна відповідати якість готової продукції?
41. Які оптимальні умови забезпечують якість і збереження сушених продуктів під час зберігання?
42. Перерахуйте вимоги, що ставляться до сушених фруктів. Для чого ведеться технохімічний контроль на виробництві?



## РОЗДІЛ 7

# ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІКА СУШІННЯ МОЛОКА ТА МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

### 7.1. Види сушених молочних продуктів. Характеристика молока як об'єкта сушіння

Молоко – один із найцінніших продуктів харчування. Воно містить усі необхідні для життя людини поживні речовини. Відповідно до рекомендацій Міжнародної організації охорони здоров'я, щоденне споживання молочних продуктів повинно становити 30% від загальної кількості їжі.

Зростання обсягів виробництва сухого молока й сухих молочних продуктів зумовлено низкою причин і в першу чергу тим, що ці продукти відрізняються високою транспортабельністю та тривалим терміном зберігання. Виробництво їх особливо важливе для тих країн, населення яких через специфічні природно-географічні умови не може бути цілком забезпечене незбираним молоком. Крім того, сухі молочні продукти активно використовуються в сучасних індустріальних технологіях виробництва продуктів харчування масового споживання. Зростанню обсягів виробництва сухих молочних продуктів також сприяє зміна в культурі харчування населення, пов'язана зі збільшенням частки напівфабрикатів високої готовності.

На сьогодні основними напрямками розвитку технології сушіння є створення агломерованих і швидкорозчинних сухих молочних продуктів, поліпшення здатності сушених молочних продуктів до відновлення та підвищення їх харчової цінності.

До сухих молочних продуктів із вторинної сировини належать сухе знежирене молоко, склотини, сироватка, до сухих твердих молочних продуктів – сухі сир, казеїн, різні молочно-білкові концентрати, а до сухих молочних продуктів спеціального призначення – сухі дитячі молочні продукти, сухі замітники незбираного молока й сухе морозиво.

Нараховується багато видів сухих молочних продуктів із наповнювачами: сухе незбиране молоко з цукром, із кавою, сухі вершки з цукром, із какао й цукром та ін. До сухих кисломолочних продуктів із наповнювачами належать солодкий йогурт, ацидофільна паста, йогурт із плодово-ягідними наповнювачами.

Сухе незбиране та знежирене молоко можна віднести до продуктів багатоцільового призначення. Із сухого молока шляхом розчинення одержують так зване відновлене молоко. Масштаби його використання зростають із кожним роком. Із відновленого молока виробляють питне пастеризоване молоко, кисломолочні напої, сир, а іноді й м'які сири, а з відновлених вершків – сметану. На основі ретельного емульгування чистого молочного жиру у відновленому сухому знежиреному молоці виробляють так зване рекомбіноване молоко.

Сухе молоко застосовують як компонент інших видів сухих молочних продуктів, у тому числі продуктів дитячого харчування, сухих сумішей морозива. Сухе знежирене молоко широко використовується у виробництві замінників незбираного молока для годування сільськогосподарських тварин. У багатьох країнах виробляють багатокомпонентні продукти на основі сухого знежиреного молока, тобто з додаванням різних жирів рослинного походження, ароматизаційних речовин тощо.

Сухе незбиране та знежирене молоко широко застосовують в інших галузях харчової промисловості, зокрема в кондитерському виробництві для виготовлення шоколаду й маргарину, соусів, ковбасних виробів та ін. За умови додавання сухого знежиреного молока до борошна значно сповільнюється черствіння хліба, підвищуються його біологічна та харчова цінність. Застосування сухої сироватки в хлібопекарській промисловості дозволяє підвищити якість хліба та збільшити його вихід. Сушу сироватку використовують як добавку під час виробництва сухих дитячих молочних продуктів і замінників незбираного молока.

Харчова та біологічна цінність молока зумовлена наявністю в ньому жирів і жироподібних речовин, білків, молочного цукру, мінеральних солей, пігментів, вітамінів, ферментів, імунних тіл, гормонів та інших фізіологічно активних речовин. Деякі з них (вітаміни, мікроелементи) у молоці містяться в дуже малих кількостях, але, маючи значну біологічну активність, впливають на біохімічні процеси, що перебігають в організмі людини. Дані про середній вміст основних компонентів у молоці подано в табл. 7.1.

**Таблиця 7.1 – Хімічний склад коров'ячого молока**

<b>Компонент</b>	<b>Середній вміст, %</b>	<b>Граничні коливання, %</b>
Вода	87,5	83...89
Сухий залишок	12,5	11...17
У тому числі:		
Молочний жир	3,7	2,8...6
Білки	3,3	2,5...4,8
Лактоза	4,7	4,0...5,6
Мінеральні речовини	0,8	0,6...0,9

У промисловій переробці витрата молока на одиницю продукції залежить в основному від його складу. Особливе значення це має у виробництві молочних консервів, де молоко нормалізують не лише за вмістом жиру, але й за вмістом сухих знежирених речовин у готовому продукті. Істотно впливають на вихід готової продукції зміни складу молока протягом року. Відзначено, що в

березні-квітні в молоці міститься мінімальна кількість жиру, білка й інших сухих речовин, а восени, у жовтні-листопаді – максимальна. Установлено, що у весняний період на склад молока впливає погіршення раціону та масове отелення корів; кращий склад молока восени забезпечується достатньою кількістю повноцінних і різноманітних кормів і закінченням лактаційного періоду.

*Молочний жир* являє собою складний ефір трьохатомного спирту, гліцерину та жирних кислот. Фізичні й хімічні властивості молочного жиру залежать від жирних кислот, яких у його складі нараховується близько 150.

Особливістю молочного жиру, що відрізняє його від інших жирів тваринного й рослинного походження, є велика кількість низькомолекулярних летких розчинних у воді жирних кислот.

Жир у молоці залежно від температури знаходиться в стані емульсії або суспензії з розміром жирових кульок у середньому 2...3 мкм за умови коливання від 0,5 до 20 мкм. Жирові кульки мають оболонку, що містить комплекси фосфоліпідів, мікроелементів та ін.

У молоці, крім жиру, містяться в невеликих кількостях жироподібні речовини – фосфатиди й стерини.

*Білки молока* – це казеїн (близько 3%), сироваткові білки (альбумін 0,5% і глобулін 0,1%) і білки оболонок жирових кульок. Вони належать до найбільш цінних біологічних речовин, тому що містять усі життєво необхідні амінокислоти, у тому числі повний комплекс незамінних амінокислот.

*Казеїн* наявний у молоці у вигляді кальцієвих солей, що мають значну тепловитривалість. Він має амфотерні властивості: зв'язує і луги, і кислоти, осаджується з розчину спиртом, кислотами та деякими ферментами. На частку казеїну припадає близько 80% усіх білків молока. Відомо більше десяти його фракцій, із яких добре досліджено три:  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$ , що розрізняються за вмістом фосфору, сірки та відношенням до сичугового ферменту.

У молекулі *альбуміну*, на відміну від казеїну, немає фосфору. Відомі три форми альбуміну –  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$ . Сичуговим ферментом і кислотами альбумін не осаджується, але денатурується під час нагрівання до температури вище 70° С.

*Глобулін* складається з  $\beta$ -лактоглобуліну, евіглобуліну (нерозчинному у воді за відсутності солей) і псевдоглобуліну (розчинному у чистій воді). Сичуговим ферментом  $\beta$ -лактоглобулін не осаджується. Під час нагрівання в слабкокислому середовищі до температури понад 75° С випадає в осад.

*Білок оболонок жирових кульок* являє собою лецитино-білкове з'єднання. Він різко відрізняється від інших білків молока за амінокислотним складом і вмістом фосфору та зумовлює стабільність жирової емульсії в молоці.

*Вуглеводи* молока – це насамперед молочний цукор (лактоза) і продукти його гідролізу (глюкоза та галактоза). У розчиненому вигляді молочний цукор знаходиться у двох формах –  $\alpha$  і  $\beta$ , що можуть переходити одна в іншу.  $\alpha$ -форма має меншу розчинність, ніж  $\beta$ -форма, тому у водних розчинах  $\alpha$ -форма швидше дає насичений розчин. Тривале нагрівання молока за температури 100° С і вище викликає карамелізацію молочного цукру, а також

реакцію між молочним цукром і амініними групами амінокислот з утворенням меланоїдинів, що додають молоку коричневе забарвлення.

Ніде в природі дисахарид, подібний до лактози, не зустрічається. Він міститься тільки в молоці.

*Мінеральні речовини* молока – це солі неорганічних і органічних кислот, переважно фосфорнокислі, казеїновокислі та лимоннокислі. У молоці вони перебувають у вигляді молекулярних і колоїдних розчинів. Загальний зміст мінеральних солей у молоці становить близько 0,9%, золи – 0,7%.

*Мікроелементи.* Крім зазначених вище солей, у молоці є залізо, мідь, цинк, марганець, кобальт, йод, ванадій і деякі інші елементи. Вміст їх дуже малий і становить мільйонні частки, але вони суттєво впливають на фізіологічні процеси організму.

*Вітаміни.* У молоці міститься більшість відомих вітамінів – жиророзчинних (А, D, Е, К) і водорозчинних (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, РР, С та ін.). Їхня кількість непостійна та залежить від кормів, породи тварин, періоду лактації, умов первинної обробки й технології перероблення молока.

*Ферменти.* У молоці міститься понад 60 видів ферментів, найважливіші з них – лактоза, протеаза, ліпаза, амілаза, каталаза.

З окиснювально-відновних ферментів у молоці є дегідрогенази. За наявності анаеробної дегідрогенази роблять висновок про кількість бактерій у молоці, а отже, і про його якість (редуктазна проба). З аеробних дегідрогеназ у молоці містяться пероксидази, що потрапляють до нього з тканин молочних залоз тварини. Пероксидази не витримують нагрівання до температури вище 80° С. На цій властивості заснована проба на пастеризацію молока (пероксидазна проба).

*Гормони,* що містяться в молоці (окситоцин, пролактин, фолікулін, адреналін, інсулін та ін.), виділяються залозами внутрішньої секреції.

*Імунні тіла.* З імунних тіл у молоці містяться антитоксини: аглютиніни, опсоніни, лізин, лізоцими, лактеніни й ін. Особливо їх багато в молозиві.

*Пігменти.* У молоці містяться пігменти тваринного походження, що виробляються організмом тварин, і рослинного (каротин, хлорофіл, ксантофіл), що потрапляють до нього з корму. Жовтий колір молока та зеленувато-жовтий сироватки зумовлений наявністю каротину та рибофлавіну.

*Гази.* У молоці містяться вуглекислота, кисень і азот. Їх кількість непостійна та коливається в межах 50...80 мл на 1 л молока. На частку вуглекислоти припадає 55...73%, кисню – 5...10%, азоту – 20...30%. Під час кип'ятіння та пастеризації молока майже всі газы видаляються, у результаті чого кислотність знижується на 0,5...1° Т.

*Вода.* У молоці навна вільна, зв'язана, кристалізаційна вода, а також вода набрякання.

У вільному стані перебуває близько 95% води. У ній розчинені основні компоненти молока. Зв'язаної, або адсорбованої, води в молоці близько 3%. Кристалізаційна вода зв'язана з кристалами деяких речовин, зокрема молочного цукру. Виділити її можна лише під час нагрівання до 140° С.

Вода набрякання зв'язана лише з білковими речовинами. Вона відіграє велику роль у формуванні консистенції кисломолочних продуктів, сиру, морозива, оскільки ступінь набрякання білкових речовин визначається кількістю води набрякання.

Жир, білки, вуглеводи та мінеральні солі складають *сухі речовини молока* (сухий молочний залишок – СМЗ). Від вмісту СМЗ залежить кількість продукції, що виробляється.

Із фізико-хімічних властивостей молока технологічне значення мають його густина, кислотність, в'язкість, осмотичний тиск, електропровідність, поверхневий натяг.

*Титрована кислотність* молока слугує показником його свіжості та виражається в градусах Тернера (°Т). Кислотність молока зумовлена наявністю в його складі солей органічних і неорганічних кислот, білків і вуглекислоти й змінюється в межах 17...20° Т. У процесі зберігання молока вона підвищується внаслідок бродіння, під час якого молочний цукор перетворюється у молочну кислоту.

*Активна кислотність.* Для нормального свіжого молока рН 6,47...6,67. Активна кислотність змінюється повільніше, ніж титрована, що пояснюється буферними властивостями молока.

Під *густиною молока* розуміють відношення маси молока за температури 20° С до маси рівного об'єму води за температури 4° С. Середнє значення густини для незбираного молока становить 1028...1030 кг/м<sup>3</sup> за умови коливань від 1027 до 1032 кг/м<sup>3</sup>. Густина молока залежить від вмісту сухих речовин. У разі додавання води густина молока зменшується приблизно на 3 кг/м<sup>3</sup> на кожні 10% води.

*Осмотичний тиск* молока залежить головним чином від вмісту в ньому молочного цукру та солей і за значенням близький до тиску крові тварини. Осмотичний тиск молока знаходять розрахунковим шляхом після визначення точки заморожування молока. За температури заморожування молока -0,55° С він становить 0,68...0,74 МПа. За осмотичним тиском і температурою заморожування можна визначити фальсифікацію молока водою.

*Температура заморожування* незбираного молока зазвичай становить 0,54...0,58° С.

*Температура кипіння* молока вища, ніж води, унаслідок наявності в ньому солей і дорівнює 100,2° С за нормального тиску.

*Електропровідність* молока залежить не лише від кількості солей, але й від їх природи, в'язкості та температури розчину. У нормальних умовах вона коливається в межах  $(39,37...51,29) \cdot 10^{-4}$  Ом·м. При захворюванні тварини електропровідність молока підвищується, тому що змінюється його сольовий склад, у разі розведення молока водою знижується.

*В'язкість молока* зумовлена головним чином його білковим складом і за температури 20° С коливається в межах  $(1,1...2,5) \cdot 10^{-3}$  Па·с, у середньому становлячи  $1,75 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Вона залежить від діаметра жирових кульок. Під час гомогенізації в'язкість молока підвищується, у результаті чого його плинність знижується. Під час нагрівання до 65° С, поки не відбувається помітних змін

колоїдного стану білків, в'язкість зменшується, за температури вище 65° С підвищується в результаті згортання альбуміну, осадження фосфорних солей і гідратації казеїну.

*Поверхневий натяг* молока (тиск поверхні рідини на її внутрішні шари) завдяки наявності в ньому білків, жиру й лецитину нижче поверхневого натягу води і становить  $43 \cdot 10^{-3}$  Н/м. Ця характеристика відіграє важливу роль у багатьох технологічних процесах переробки молока – згущенні, готуванні морозива, маслоутворенні.

*Теплоємність* молока в середньому дорівнює  $3,8266 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К). Вона залежить від складу молока та фізичного стану жиру.

*Теплопровідність* залежить від складу молока, температури та вмісту жиру і становлять  $(3,95 \dots 5,23) \cdot 10^2$  Вт/(м К), тобто вища за теплопровідність води – 0,5 Вт/(м К).

Значення фізичних характеристик молока та молочних продуктів ураховуються під час розрахунків і конструювання машин і апаратів для молочної промисловості.

До чинників, що викликають зміни в складі, в органолептичних і технологічних властивостях молока, належать: порода тварини, стадія лактації, вік, умови утримування та годування, способи й частота доїння та ін. Залежно від породи корів вміст білка в молоці коливається від 3,1 до 4,23%. Найвищий відсоток жиру спостерігається в молоці корів бурої латвійської породи ( $3,93 \pm 0,02\%$ ), а найнижчий – червоної степової ( $3,3 \pm 0,04\%$ ). При цьому молоко корів окремих порід різниться не лише вмістом жиру, але і його складом.

Якість молочних консервів залежить також від віку корів. У молоці корів молодших вікових груп вищий вміст амінного азоту, вітаміну В<sub>1</sub>, нижчий – вітамінів В<sub>2</sub> і С. Дослідження показали, що кращим за технологічними властивостями є молоко корів середнього віку. Воно також характеризується більшою стійкістю під час зберігання.

Впливає на якість молока і стадія лактації. Найбільш висока кислотність відзначається в сухому продукті з молока першого місяця лактації, і, отже, воно менш придатне для тривалого зберігання. У стійловий період молоко корів усіх вікових груп схоже за біохімічними та технологічними властивостями. Проте згущене молоко літнього вироблення, коли корови утримуються на пасовищі, відрізняється кращими смаковими властивостями й ароматом у молодшій і середній вікових групах.

Під час виробництва сухих молочних продуктів до якості молока ставляться підвищені вимоги. Це зумовлено необхідністю їх збереження протягом тривалого часу (не менше 12 місяців), а також тим, що під час сушіння молока дефекти його підсилюються.

У світовій практиці загально визнано, що необхідною умовою одержання молока високої якості є негайне охолодження його після доїння. Відповідно до діючих ДСТУ молоко, яке заготовляють, підрозділяється на два сорти й несортове. Для виробництва сухого молока можна використовувати лише молоко першого та другого сортів. При цьому тривалість збереження молока за температури не вище 10° С не повинна перевищувати 20 год. У зв'язку з цим у

багатьох країнах світу молоко, призначене для сушіння, пастеризують безпосередньо на фермах.

Багаторічний досвід показав, що найбільш доцільно молоко на фермах охолоджувати до температури не вище 4° С.

У разі порушення правил одержання та санітарно-технічних вимог до первинної обробки молока, умов транспортування, а також годування корів у молоці з'являються дефекти. Залежно від причин виникнення їх підрозділяють на дефекти кормового, мікробіологічного, технічного та фізико-хімічного походження.

*Дефекти кормового походження* виникають під час поїдання коровами рослин, що містять алкалоїди, глюкозиди й ефірні олії, які надають молоку невластивий запах і смак, що під час сушіння не усуваються.

*Дефекти мікробіологічного походження* є прогресуючими, тобто ступінь їх виразності підсилюється в процесі зберігання молока. Утворюються вони в результаті життєдіяльності мікроорганізмів, що потрапляють у молоко.

Кисле молоко (молоко з підвищеною кислотністю) є результатом розвитку молочнокислих бактерій. Вони потрапляють у нього в разі недотримання санітарних умов одержання та первинної обробки (недостатнього охолодження молока і транспортування його за температур, сприятливих для розвитку мікроорганізмів). Молоко, що бродить, характеризується інтенсивним виділенням газів, що утворюють шар піни під відстояними вершками.

*Дефекти технічного походження* є наслідком неправильної обробки молока. Це забруднення молока механічними домішками (пиллом, соломною, гноєм тощо). Металевий присмак виникає під час використання погано лудженого або іржавого посуду й апаратури. Сторонні присмак і запах у молоці виникають під час тривалого зберігання на скотарні. Стародійне молоко також відрізняється від нормального молока наявністю гіркувато-солонуватого присмаку. Лойовий смак у молоці з'являється під впливом ультрафіолетових променів, тому не можна зберігати й обробляти молоко під час сонячного освітлення.

Для одержання якісного, повноцінного в поживному відношенні молока необхідно суворо дотримуватися санітарних і ветеринарних правил і технології годування, доїння худоби, первинної обробки та зберігання молока.

Важливу роль, зокрема в процесах сушіння, відіграють теплофізичні характеристики молока та молочних продуктів.

*Питома теплоємність* – кількість теплоти, яку необхідно надати одиниці маси речовини для збільшення її температури на один градус. Одиниця вимірювання цієї величини – Дж/(кг·К).

Питома теплоємність молока  $c_m$ , як і інших вологих матеріалів, визначається за правилом адитивності:

$$c_m = \frac{c_{cp}(100 - w) + c_w w}{100} = \frac{c_{cp}100 + c_w w}{100}, \quad (7.1)$$

де  $c_{cp}$  і  $c_w$  – відповідно питомі теплоємності сухих речовин молока та води, Дж/(кг·К).

Питома теплоємність води  $c_w=4186,8$  Дж/(кг·К) вища, ніж сухих речовин і жиру молока (для сухого незбираного молока  $c=1256$  Дж/(кг·К), сухих знежирених речовин молока  $c=1172...1340$  Дж/(кг·К), молочного жиру  $c=2094...2177$  Дж/(кг·К) залежно від температури). Отже, у процесі сушіння питома теплоємність молока та молочних продуктів знижується. Під час підвищення температури матеріалу в межах  $15...70^\circ$  С питома теплоємність незбираного та знежиреного молока збільшується, молочної сироватки практично не змінюється, а вершків різної жирності знижується.

За одної і тої самої температури питома теплоємність сухого незбираного молока більша теплоємності сухого знежиреного молока, тому що значення питомої теплоємності молочного жиру більше, ніж сухих знежирених речовин молока.

М.О. Громов запропонував для визначення питомої теплоємності плазми молока за вмісту сухих знежирених речовин у межах  $3...40\%$  і температури від  $0$  до  $80^\circ$  С таке рівняння:

$$c = \frac{4187w + (-3242 + 16,87T)(100 - w)}{100} \quad (7.2)$$

О.Н. Лепілін, С.І. Ноздрін і В.В. Зотов рекомендують таке рівняння для розрахунку питомої теплоємності молока та вершків залежно від температури ( $30...80^\circ$  С) і вмісту жиру ( $0...80\%$ ):

$$c=0,001517-(3,982-0,00624)/100+3,52. \quad (7.3)$$

*Коефіцієнт теплопровідності* визначає здатність речовини доводити теплоту та дорівнює кількості теплоти, що проходить за одиницю часу через одиницю поверхні за зміни температури в один градус на одиницю довжини матеріалу:

$$\lambda = \frac{Q}{F\tau\Delta Tl}, \quad (7.4)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

$Q$  – кількість переданої теплоти, Дж;

$F$  – площа поверхні,  $m^2$ ;

$\tau$  – час, с;

$\Delta T$  – різниця температур, К;

$l$  – лінійний розмір тіла, м.

Коефіцієнт теплопровідності залежить від структури, густини, температури та вологовмісту матеріалу. Із підвищенням температури, вологості



та насипної густини він зростає. Перенесення вологи підвищує значення  $\lambda$ , тому в міру зменшення вологості в процесі сушіння коефіцієнт теплопровідності поступово зменшується.

Теплопровідність молочних продуктів підвищується зі зменшенням у них вмісту жиру. М.О. Громов запропонував формулу для визначення теплопровідності плазми молока в межах зміни температури від 5 до 80° С і сухих знежирених речовин від 9 до 40° С:

$$\lambda = \frac{\lambda_w w + 0,31(100 - w)}{100}, \quad (7.5)$$

де  $\lambda_w$  – коефіцієнт теплопровідності води за температури плазми.

За  $T=273$  К –  $\lambda_w=0,551$  Вт/(м·К);  $T=293$  К –  $\lambda_w=0,598$ ;  $T=313$  К –  $\lambda_w=0,633$ ;  $T=323$  К –  $\lambda_w=0,647$ ;  $T=333$  К –  $\lambda_w=0,659$ ;  $T=343$  К –  $\lambda_w=0,667$ ;  $T=353$  К –  $\lambda_w=0,674$ .

*Коефіцієнт температуропровідності* визначає швидкість зміни температури в нестационарних теплових умовах. Сушіння відбувається в умовах нестационарного теплового поля, температура якого змінюється з часом, тому коефіцієнт температуропровідності має велике значення, оскільки він є коефіцієнтом дифузії теплоти. Він прямо пропорційний властивості матеріалу проводити теплоту, тобто коефіцієнту теплопровідності  $\lambda$ , і обернено пропорційний його об'ємній теплоємності:

$$a = \lambda / (c\rho). \quad (7.6)$$

Л. Рідл рекомендує таке рівняння для визначення коефіцієнта температуропровідності для рідких і пастоподібних харчових матеріалів залежно від вологості й температури:

$$a \cdot 10^8 = 8,83 + K \cdot w / 100, \quad (7.7)$$

де  $K$  – температурний коефіцієнт, за  $T=273$ ; 293; 313; 333; 353 і 373 К відповідно рівний,  $\cdot 10^8$ : 4,3; 5,6; 6,4; 7,0; 8,0.

М.О. Громов рекомендує таку формулу для визначення коефіцієнта температуропровідності плазми молока залежно від температури та вологості плазми:

$$a \cdot 10^6 = \frac{a_w w + 11(100 - w)}{100}, \quad (7.8)$$

де  $a_w$  – коефіцієнт температуропровідності води за певної температури плазми, м<sup>2</sup>/с.

Із підвищенням температури та вологості молока, молочних продуктів коефіцієнт температуропровідності зростає. Ця величина обернено пропорційна густині матеріалу.

*Густина молока та молочних продуктів* зменшується з підвищенням температури, вмісту жиру збільшується в процесі сушіння зі зниженням вологості матеріалу. Для сухих молочних продуктів визначають також насипну густину  $\rho_{нас}$ , що залежить від густини та розміру окремих частинок, наявності повітряних проміжків між ними. Оскільки коефіцієнт температуропровідності повітря набагато більший, ніж рідин і твердих речовин, у сухих молочних продуктів із меншою насипною щільністю ця величина має більше значення, ніж у продуктів із більш щільним укладанням частинок.

## **7.2. Попередня підготовка сировини до сушіння**

### *7.2.1. Транспортування, приймання сировини на вході до сушильного цеху та оцінка її якості*

До процесів первинної обробки молока належать процеси механічної обробки молока (очищення, сепарування, нормалізація, гомогенізація) і процеси теплової обробки молока (охолодження, підігрівання, пастеризація). Цим процесам передують транспортування молока та його приймання на молочноконсервному підприємстві.

На молочноконсервні заводи молоко надходить в основному в автоцистернах ємністю від 3 до 12 т протягом 12 год на добу. Під час доставки молока його склад, властивості та якість не повинні змінюватися. Для виконання цієї умови у свою чергу необхідно, щоб температура молока під час транспортування не підвищувалася більше ніж на  $0,5...1^{\circ}\text{C}$ . Кислотність молока також не повинна збільшуватися.

Цистерни, що надійшли на завод, обмивають водою (особливо ретельно повинні бути обмиті патрубки для зливу молока з цистерни). Після цього відбирають проби молока для оцінки його якості. Потім визначають кількість молока, що надійшло, шляхом зважування або вимірювання його об'єму за допомогою різних молоколічильників. Для зважування застосовують ваги або спеціальні тензометричні резервуари.

Автоцистерни після спорожнювання спочатку ополіскують теплою водою, а потім миють лужним розчином, гарячою водою та пропарюють.

Під час приймання молока механічний вплив на нього повинен бути мінімальним. Зайве перемішування та багаторазове перекачування насосами призводить до агрегації жирових кульок і насичення молока повітрям, що активізує ліпазу, яка розщеплює жирні кислоти, у результаті чого молоко набуває неприємного присмаку.

Після приймання молоко залежно від конкретних умов виробництва можна спочатку охолодити та направити на резервування або піддати очищенню, а потім охолодити та направити на резервування. У практичних умовах найчастіше після приймання молоко охолоджують до  $4...6^{\circ}\text{C}$  та

резервують, оскільки для підігрівання його перед очищенням потрібні додаткові витрати теплоти, що не завжди виправдано. Охолоджують молоко в пластинчастих або трубчастих охолоджувачах.

Охолоджене молоко зберігають у горизонтальних і вертикальних резервуарах різної ємності з мішалками. Перемішування молока необхідне для запобігання відстоювання жиру й утворення вершків. Під час зберігання молока періодично (через кожні 2 год) перевіряють його кислотність і температуру. У разі підвищення температури молоко охолоджують удруге. На молочноконсервних заводах молоко зберігають зазвичай 4...12 год.

Придатність молока для виготовлення молочних консервів установлюють на основі органолептичної оцінки та результатів фізико-хімічних і бактеріологічних аналізів. При цьому оцінюють смак, запах, колір молока, визначають його механічне й мікробіологічне забруднення, кислотність, термостійкість, вміст жиру та сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ). Систематично в кожній флязі та секції цистерни визначають кислотність, вміст жиру й густину (за середньою пробєю партії). Періодично встановлюють чистоту молока, що надходить, і проводять редуказну пробу як непрямий показник його бактеріальної безпеки. Вибірково досліджують молоко з ознаками фальсифікації, а також отримане від хворих корів, із домішкою молозива, наявністю антибіотиків та ін.

Молоко, яке використовується у виробництві молочних консервів, повинно мати високу термостійкість і титровану кислотність не вище 20° Т (для дитячих молочних продуктів і згущеного стерилізованого молока 19° Т). Найвища якість продукту забезпечується під час переробки молока кислотністю 17...18° Т. Якщо кислотність молока вище 20° Т, його білки втрачають стійкість до теплового впливу під час пастеризації та згущення, до того ж відбувається їх часткова або повна коагуляція.

### *7.2.2. Операції механічної та теплової обробки молока та молочних продуктів*

До процесів механічної обробки молока належать процеси очищення, сепарування, нормалізації, гомогенізації.

*Очищення молока* здійснюється за допомогою фільтрів різних конструкцій (пластинчастих, дискових, циліндричних) і відцентрових молокоочищувачів.

Очищають як холодне, так і підігріте молоко. Очищення холодного молока ефективно лише в тому разі, якщо воно бездоганне за фізико-хімічними, гігієнічними та мікробіологічними показниками. Кислотність повинна бути не більше 18° Т, кількість мікроорганізмів не повинна перевищувати 500000 у 1 мл. Але головна вимога полягає в тому, що молоко не повинно містити клітин і частинок тканин, що потрапляють з організму корови.

Тому перед очищенням молоко підігрівають до 35...45° С, що знижує його в'язкість і підвищує ефективність процесу. Під час очищення на фільтрі молоко під тиском проходить крізь фільтруючу тканину (фланель, байку, лавсан). Поступово на ній утворюється щільний шар частинок домішок, тиск

підвищується, і тканину змінюють. Щоб процес був безперервним, фільтри обладнують двома секціями.

Очищення за допомогою відцентрових молокоочисників більш надійне, ніж на фільтрах, його можна проводити без попереднього підігріву молока. Проте при цьому продуктивність молокоочисників скорочується на 50%. На якість очищення молока впливають у першу чергу температура молока, його забруднення, частота обертання барабана та тривалість безперервної роботи установки.

*Бактофугування* дозволяє разом з очищенням молока від механічних домішок видаляти більшу частину мікроорганізмів. Бактофуги діють за принципом відцентрових очисників, відрізняючись від них більш високою частотою обертання барабана (понад  $16000 \text{ хв}^{-1}$ ) і великим числом та розміром тарілок.

*Сепарування молока* є одним з основних технологічних процесів, що забезпечують одержання вершків і знежиреного молока, які використовуються на молочноконсервних комбінатах для сушіння. Під час виробництва молочних консервів сепарування необхідне також для здійснення нормалізації молока. Сепарування, як і очищення, молока проводять за  $40...45^\circ \text{C}$  на відцентрових сепараторах.

*Нормалізація молока* необхідна під час виробництва сухого молока для одержання готового продукту стандартного складу.

Під час нормалізації сировини лише за жиром практично неможливо або досить важко одержати сухе молоко стандартного складу. Проте основною умовою нормалізації молока під час вироблення сухих продуктів є нормалізація за вмістом жиру.

При цьому можливі два основних випадки: перший – жиру у вихідному незбираному молоці більше, ніж потрібно для нормалізованого; другий – жиру у вихідному незбираному молоці менше, ніж потрібно для нормалізованого. У першому випадку можливі два варіанти нормалізації. Перший варіант полягає в тому, що з молока видаляють частину вершків, другий передбачає додавання знежиреного молока до незбираного. Обидва варіанти можна охарактеризувати такими рівняннями матеріального балансу:

$$M_{\text{норм}} = M_{\text{н}} - M_{\text{в}}, \quad (7.9)$$

$$M_{\text{норм}} = M_{\text{н}} + M_{\text{зн}}, \quad (7.10)$$

де  $M_{\text{норм}}$ ,  $M_{\text{н}}$ ,  $M_{\text{в}}$ ,  $M_{\text{зн}}$  – відповідно кількість нормалізованого, незбираного молока, вершків і знежиреного молока, кг.

Для цих варіантів нормалізації рівняння жирового балансу мають такий вигляд:

$$M_{\text{норм}} \mathcal{J}_{\text{норм}} = M_{\text{н}} \mathcal{J}_{\text{н}} - M_{\text{в}} \mathcal{J}_{\text{в}}, \quad (7.11)$$

$$M_{\text{норм}} \mathcal{J}_{\text{норм}} = M_{\text{н}} \mathcal{J}_{\text{н}} + M_{\text{зн}} \mathcal{J}_{\text{зн}}, \quad (7.12)$$

де  $J_{\text{норм}}$ ,  $J_{\text{н}}$ ,  $J_{\text{в}}$ ,  $J_{\text{зн}}$  – відповідно жирність нормалізованого, незбираного молока, вершків, знежиреного молока, %.

У другому випадку також можливі два варіанти нормалізації. Перший полягає в додаванні вершків, другий – у видаленні знежиреного молока. При цьому рівняння матеріального балансу мають такий вигляд:

$$M_{\text{н}} = M_{\text{ц}} + M_{\text{с}}, \quad (7.13)$$

$$M_{\text{н}} = M_{\text{ц}} - M_{\text{о}}. \quad (7.14)$$

Відповідно рівняння жирового балансу можна подати таким чином:

$$M_{\text{н}} J_{\text{н}} = M_{\text{ц}} J_{\text{ц}} + M_{\text{с}} J_{\text{с}}, \quad (7.15)$$

$$M_{\text{н}} J_{\text{н}} = M_{\text{ц}} J_{\text{ц}} - M_{\text{о}} J_{\text{о}}, \quad (7.16)$$

На практиці для нормалізації молока за жиром використовують три способи:

- 1) змішування молока зі знежиреним молоком або вершками у статичних умовах (у резервуарах);
- 2) змішування в потоці;
- 3) додаткове застосування сепаратора, що розділяє потік молока на потоки знежиреного молока та вершків, які потім змішуються в необхідному співвідношенні в один потік.

*Гомогенізація молока.* Під час виробництва багатьох сухих молочних продуктів для підвищення їх якості застосовують гомогенізацію. Найбільш доцільна гомогенізація згущеного молока. Гомогенізація впливає на підвищення якості сухих продуктів і збільшення їх стійкості під час зберігання, що зумовлено зміною дисперсності жирової фракції молока. Для додавання стійкості молоку необхідно роздрібнити жирові кульки шляхом гомогенізації. Ефективність гомогенізації підвищується зі збільшенням тиску й температури. Температура гомогенізації зазвичай  $60^{\circ}\text{C}$ , тиск до 5 МПа. У результаті гомогенізації згущених молока і вершків зменшується кількість вільного жиру в сухих продуктах, а також збільшується в'язкість. Це необхідно враховувати, оскільки в'язкість позначається на режимі роботи розпилювального пристрою сушильних установок.

Незбиране молоко, знежирене молоко, сироватку, вершки, призначені для сушіння, піддають багаторазовій *тепловій обробці*: охолодженню молока на фермі, охолодженню молока й інших продуктів під час резервування, підігріву його перед очищенням і пастеризацією.

*Пастеризація* є основним видом теплової обробки молока й інших видів молочних продуктів, призначених для сушіння.

Під час пастеризації молока значно змінюються його фізико-хімічні властивості, стан білкових і жирових фракцій, а також мінеральних речовин. Крім того, пастеризація істотно впливає на ферменти молока. Під час виробництва сухих молочних продуктів для забезпечення їх стійкості режими пастеризації варто вибирати такими, щоб основні ферменти молока були

інактивовані. Із ферментів на якість сухого молока найбільше впливають протеаза та ліпаза. Протеаза досить стійка до нагрівання. Активність її знижується за температури нагрівання  $77^{\circ}\text{C}$ , але сама протеаза не руйнується навіть за  $93^{\circ}\text{C}$ .

Вважається, що для інактивації ліпази достатньо температури  $85\text{...}90^{\circ}\text{C}$ . Проте в деяких партіях молока ліпаза повністю руйнується лише за температури теплової обробки  $95\text{...}105^{\circ}\text{C}$ .

Із підвищенням температури пастеризації збільшується розмір казеїнових частинок. Одночасно з цим змінюється в'язкість молока.

Під час пастеризації істотно змінюються сироваткові білки. Значна їх частина денатурує та випадає в осад. Зі збільшенням температури цей процес інтенсифікується.

Під час виробництва сухих продуктів оптимальною температурою пастеризації молока є  $95^{\circ}\text{C}$ . При цьому варто підкреслити, що температура пастеризації молока не повинна бути нижче  $90^{\circ}\text{C}$ .

### 7.2.3. Операція згущення молока

Під час виробництва сухих молочних продуктів сушінню передують процес згущення до вмісту сухих речовин від 30 до 48%. Це робиться з двох причин. По-перше, під час сушіння на видалення 1 кг вологи витрачається приблизно у 10 разів більше теплоти, ніж під час згущення, по-друге, сухе молоко, отримане з молока без попереднього згущення, за якістю гірше, ніж сухий продукт, вироблений зі згущеного.

*Випарювання* – це процес згущення розчинів під час кипіння. Для збереження якості згущення молока проводять під вакуумом за знижених температур. Під час випарювання під вакуумом зменшуються втрати теплоти в навколишнє середовище, зменшується величина поверхні теплопередачі у вакуум-апаратів, з'являється можливість використання пари (відпрацьованої та виділеної з молока).

Основним чинником, що визначає інтенсивність випарювання та продуктивність вакуум-апарата, є температурний перепад – різниця між температурами пари, що гріє, і киплячого розчину (молока), тобто корисна різниця температур  $\Delta t_k$ . У сучасних вакуум-апаратах корисна різниця температур становить  $8\text{...}15^{\circ}\text{C}$ .

Унаслідок неминучих температурних втрат  $\Delta t_k$  завжди менше різниці температур  $\Delta t$  між парою, що гріє, і вторинною парою (що надходить у конденсатор)

$$\Delta t_k = \Delta t + \Delta \Sigma. \quad (7.17)$$

Температурні втрати зумовлені в основному фізико-хімічною та гідравлічною депресіями. *Фізико-хімічна депресія* зумовлена тим, що за однакової температури тиск пари води над молоком нижчий, ніж над водою,

оскільки в молоці наявна не лише вільна, але й зв'язана волога, тому температура вторинної пари нижча фактичної температури кипіння розчину на величину температурної депресії. *Гідравлічна депресія* зумовлена тим, що в нижніх шарах рідини тиск вище на величину  $\rho h$ , де  $h$  – висота стовпа рідини. Тому температура кипіння по висоті міняється. На гідравлічну депресію впливає також довжина труб, по яких виводиться вторинна пара до конденсатора. Гідравлічна депресія в циркуляційних вакуум-апаратах досягає 1,3...1,5° С. Сумарні температурні втрати під час згущення можуть становити від 2,7 до 3,5° С.

Зміна властивостей і фізичного стану згущеного продукту, а також окремих компонентів сухої речовини залежить від ступеня згущення й техніки випарювання. Жирова фаза молока зберігається під час згущення в стані емульсії. Фізичний стан лактози змінюється залежно від ступеня та температури згущення продукту. Так, за ступеня згущення, рівного чотирьом, і температури 20° С 55% лактози знаходиться в кристалічному стані, а за 60° С – вона повністю розчиняється. За високого ступеня згущення після охолодження продукту до 20° С мінеральні солі частково переходять у кристалічний стан.

На плинність і в'язкість згущеного продукту найбільше впливають структурні зміни білків молока, головним чином казеїну. За концентрації казеїну в розчині понад 18...20% його частинки зближаються й агрегують. Це супроводжується збільшенням в'язкості продукту, у результаті чого плинність згущеного молока різко зменшується.

Про закінчення згущення роблять висновок за кінцевим вмістом сухої речовини в згущеному продукті та ступенем згущення. Кінцевий вміст сухої речовини в продукті визначають у відсотках. Ступінь згущення, або *коефіцієнт випарювання*, показує, у скільки разів змінився вміст сухої речовини молока під час згущення, тобто відношення вмісту сухої речовини в згущеному продукті до вихідного вмісту його в молоці. Під час періодичного згущення кінець згущення визначають *ареометричним* або *рефрактометричним методом*. Ареометричний метод заснований на залежності між густиною згущеного продукту та вмістом сухої речовини в ньому. В основу рефрактометричного способу покладена залежність між коефіцієнтом заломлення світла та вмістом сухої речовини в продукті.

В установках плівкового та циркуляційного типу, що працюють безперервно-потокним способом, необхідна концентрація сухих речовин у продукті автоматично контролюється та регулюється за допомогою приладів, робота яких заснована або на залежності електропровідності від вмісту вологи й температури (кондуктометричний спосіб контролю), або на вимірюванні діелектричної проникності (високочастотний вологомір).

#### 7.2.4. Обладнання для попередньої підготовки молока та молочних продуктів до сушіння

До основного устаткування для приймання молока належать різні ваги й лічильники, за допомогою яких визначають кількість молока або інших рідких молочних продуктів, що надходять на завод.

Найбільше поширення одержали так звані важільні ваги, що працюють у ручному, напівавтоматичному й автоматичному режимах керування. Ці ваги дозволяють визначати та реєструвати масу окремих порцій продукту, а також сумарну масу партії продукту. На вагах допускається одночасно зважувати від 25 до 500 кг. Похибка зважування  $\pm 1\%$  граничного навантаження.

Для визначення кількості молока, що надходить на молочноконсервні комбінати, застосовують також резервуари з тензорезисторними пристроями, що практично виконують роль ваг і мають похибку за максимально допустимого навантаження до  $\pm 0,5\%$ .

Застосовують також різного роду гідродинамічні лічильники для об'єму молока, що проходить крізь насос. Проте на їх роботу впливає наявність у молоці піни, що призводить до завищення показань.

Основним устаткуванням, призначеним для резервування та збереження молока, є *горизонтальні й вертикальні резервуари*.

У горизонтальних резервуарах молоко перемішується відцентровим насосом і ежектором, розташованим у резервуарі. Автоматичне вмикання та вимикання насоса через визначені проміжки часу здійснюється спеціальним механізмом. Резервуар має пристрій для автоматичного дистанційного контролю граничного рівня молока, а також пристрій для контролю температури продукту.

Вертикальні резервуари великої ємності (50...150 т) установлюють поза виробничими приміщеннями для збереження молока за температури навколишнього повітря від  $-25$  до  $+38^{\circ}\text{C}$ .

Тривалість спорожнювання цистерн і горизонтальних резервуарів  $\tau_{cn}$  (у секундах) самопливом визначають таким чином:

$$\tau_{cn} = \frac{V}{\mu f \sqrt{2g \cdot 0,694r}}, \quad (7.18)$$

де  $V$  – об'єм резервуара,  $\text{м}^3$ ;

$r$  – радіус цистерни, горизонтального резервуара, м;

$\mu$  – коефіцієнт витікання ( $\mu = 0,7 \dots 0,9$ );

$f$  – живий перетин вихідного патрубку,  $\text{м}^2$ .

*Устаткування для механічної обробки молока та молочних продуктів.* На сьогодні широке застосування одержали саморозвантажувальні молокоочисники продуктивністю 5, 10, 15, 25 тис. л молока за годину.



Тривалість безперервної роботи саморозвантажувальних сепараторів  $\tau_c$  (у годинах) можна визначити за формулою О.П. Новікова:

$$\tau_c = \frac{100V_G}{Ma}, \quad (7.19)$$

де  $V_G$  – об'єм грязьового простору сепаратора, л;

$M$  – витрата продукту, м<sup>3</sup>/год;

$a$  – об'ємна концентрація зважених частинок механічних домішок, %.

Ефективність роботи сепараторів характеризують втратами жиру  $\Pi_{\text{ж}}$  (у %), які можна визначити за формулою:

$$\Pi_{\text{ж}} = [M_{\text{зн}} J_{\text{зн}} / (M_{\text{н}} J_{\text{н}})] 100, \quad (7.20)$$

де  $M_{\text{зн}}$ ,  $M_{\text{н}}$ , – відповідно кількість знежиреного та незбираного молока, кг;

$J_{\text{зн}}$ ,  $J_{\text{н}}$  – відповідно вміст жиру в знежиреному та незбираному молоці, %.

Сепаратори, призначені для нормалізації, не дозволяють із достатньою точністю та сталістю здійснювати нормалізацію молока за жиром. У зв'язку з цим для нормалізації молока в потоці застосовують різного роду автоматизовані системи й пристрої.

Для *гомогенізації* в промислових умовах застосовують головним чином клапанні гомогенізатори продуктивністю до 5000 л молока за годину. Кращі гомогенізатори роблять двоступінчастими. Із гомогенізаторів інших типів варто назвати гідродинамічні та відцентрові. Найменш ефективними є відцентрові. Вони не дозволяють регулювати продуктивність і тиск гомогенізації, викликають сильне піноутворення молока, що призводить до аерації продукту та зайвих втрат жиру.

Важливими показниками, що характеризують роботу гомогенізаторів, є розмір жирових кульок у продукті після гомогенізації, підвищення нагрівання молока в результаті проходження його через гомогенізовану голівку. Середній розмір жирових кульок у продукті  $d_{cp}$  (у мкм) можна визначити за формулою Баранівського:

$$d_{cp} = 3,8\sqrt{p}, \quad (7.21)$$

де  $p$  – тиск гомогенізації, МПа.

Підвищення температури продукту  $\Delta t$  (° С) в результаті проходження гомогенізованої голівки визначають за формулою:

$$\Delta t = \frac{p}{\rho c}, \quad (7.22)$$

де  $\rho$  – густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – питома теплоємність продукту, Дж/(кг·К).

До основного *устаткування для теплової обробки молока* й інших молочних продуктів належать охолоджувачі, пастеризатори й універсальні (комбіновані) установки. Усе більше поширення знаходить пастеризація молока, яка здійснюється на установках із безпосереднім паровим нагріванням, тобто внаслідок уведення очищеної пари в молоко. Під час використання таких пастеризаторів необхідно особливу увагу звертати на якість пари, яка не повинна містити домішок. Використовуються також вертикальні трубчасті пастеризатори, що входять у загальний комплект вакуум-випарних установок.

Конструктивно всі пластинчасті й трубчасті апарати незалежно від призначення мають багато спільного. У пластинчастій охолоджувальній установці в першій секції продукт охолоджується холодною водою, у другій – розсолем. Робота установки розрахована на такий температурний режим: температура молока, що надходить, – 30...35° С; води – 12° С; розсолу – 5° С. За таких температур на вході в апарат молоко після першої секції має температуру 20...22° С, після другої – 4±2° С.

Пастеризаційна трубчаста установка як правило двосекційна. У кожній із секцій розміщена система труб, по яких рухається продукт. Установка обладнана системою автоматичного контролю та регулювання температури пастеризації.

Теплообмінні апарати, що застосовуються лише для пастеризації або охолодження молока, невігідні. Із метою скорочення витрат теплоти в молочній промисловості широко застосовують так звані *регенератори*, або *рекуператори*. У цих теплообмінних апаратах продукт, що надходить на пастеризацію, нагрівається за рахунок теплоти пастеризованого молока. Найчастіше регенератори входять до складу універсальних або комбінованих пастеризаційних установок. У них повинно бути не менше чотирьох секцій: пастеризації, регенерації, охолодження холодною водою, охолодження розсолем або крижаною водою. У молочноконсервній промисловості застосовують п'яти- і шестисекційні універсальні апарати.

*Вакуум-випарні установки*, які застосовують у молочноконсервній промисловості, можна класифікувати за процесними та конструктивними принципами. За принципом роботи вакуум-апарати підрозділяються на періодичні й безупиннодіючі, циркуляційні та плівкові.

У *періодичнодіючих* вакуум-апаратах молоко згущується поступово від початкової до необхідної концентрації сухих речовин, після чого згущений продукт випускають з апарата і цикл повторюється. Цей тип апаратів характеризується великим робочим об'ємом продукту, що згущується, і багаторазовою його циркуляцією.

За використанням вторинної пари розрізняють вакуум-апарати, у яких вторинна пара не використовується, і працюючі з використанням вторинної пари, або з термокомпресією. У вакуум-апаратах першої групи вторинна пара повністю конденсується в конденсаторі та видаляється з установки, тому вони

неекономічні й не застосовуються в наш час. У вакуум-апаратах із термокомпресією частина вторинної пари, що утворюється, стискується за допомогою гострої пари в пароструминному інжекторі і ця суміш використовується як нагрівальна пара для нагрівання рідини, що згущується.

В апаратах із кількома ступенями випарювання вторинна пара повністю використовується для нагрівання. Під час заміни однокорпусної установки двокорпусною питома витрата пари скорочується наполовину.

Поряд з економічністю для процесу випарювання неодмінною умовою є одержання згущеного продукту високої якості, що може бути досягнуто тільки за короткочасного теплового впливу на продукт у вакуум-апараті та застосування низьких температур випарювання.

Циркуляційні багатокорпусні установки мають низку недоліків. Основні з них полягають у тому, що вони мають велику тривалість перебування продукту, що згущується, – до 30...40 хв, а в окремих випадках і більше. Крім того, в апаратах подібного типу немає можливості регулювання тривалості теплового впливу на продукт.

Відзначених недоліків немає у випарних апаратах *плівкового типу*. Перевага вакуум-випарних апаратів, що працюють за принципом падаючої плівки, полягає в однократній циркуляції рідини, швидкому (протягом 3...4 хв) проходженні її по поверхні нагрівання, зниженні температурних втрат унаслідок незначної гідростатичної депресії завдяки відсутності тиску стовпа рідини. Оскільки відношення поверхні нагрівання до робочого об'єму в такому апараті дуже велике, то теплообмін відбувається досить інтенсивно. Вакуум-апарати цього типу мають продуктивність до 50000 кг випаруваної вологи за годину.

Плівкові вакуум-апарати мають і деякі недоліки. Вони чутливі до змін тиску пари, що гріє, температури та кількості охолоджуючої води, що надходить на конденсатор, а також до зміни кількості молока, яке подається на згущення. У разі порушення рівномірного розподілу молока по трубках відбувається забивання деяких із них перегушеним продуктом і його пригорання. Ці недоліки усуваються під час автоматичного регулювання зазначених параметрів. Крім того, установлювати їх необхідно в приміщеннях великої висоти.

Під час вибору числа корпусів вакуум-апарата керуються насамперед специфічними особливостями процесу згущення молока. Якщо прийняти максимально допустиму температуру випарювання молока в першому корпусі  $70^{\circ}\text{C}$  і мінімальний перепад між температурами кипіння рідини, що згущується, у суміжних корпусах у середньому  $12^{\circ}\text{C}$ , то практично прийнятий ряд температур становить  $70\text{--}58\text{--}46^{\circ}\text{C}$ , що відповідає трьом ступеням випарювання в установках циркуляційного типу. Подальше збільшення числа ступенів вимагає більш високого ступеня розрідження в системі, що пов'язано з додатковими енергетичними витратами.

Під час випарювання в однокорпусному вакуум-апараті без використання вторинної пари питома витрати пари становлять близько 1 кг на 1 кг випаруваної води. Питомі витрати пари в однокорпусних апаратах з інжекцією

становлять 0,55...0,60 кг/кг, у двокорпусних і трикорпусних 0,25...0,3 кг/кг. Тому найбільш доцільне випарювання в багатокорпусних вакуум-апаратах.

Техніко-економічна оцінка вакуум-випарних установок показує, що собівартість випарювання 1 т вологи найменша в чотирикорпусній установці. Але в ній так само, як і в п'ятикорпусній, значно збільшується тривалість обробки продукту. Зазвичай у молочній промисловості застосовуються вакуум-апарати циркуляційного типу з числом ступенів випарювання не більш трьох.

Широко застосовують також вакуум-випарні установки з пластинчастими калоризаторами. Пластинчасті вакуум-випарні установки досить стійко працюють лише на високоякісному вихідному молоці. Під час згущення молока недостатньо високої якості спостерігається забивання прохідних каналів установки, утворення пригару на пластинах. Усе це ускладнює їх експлуатацію та процес миття.

Згущення молочних продуктів на вакуум-випарних установках, у яких агент, що гріє, – водяна пара, супроводжується великим споживанням води для конденсації. Щоб скоротити витрати води, доцільно використовувати вакуум-випарні установки з аміачним і фреоновим обігрівом. Переваги подібних установок – низькі температури кипіння, за яких властивості компонентів молока майже не змінюються.

Виробничі розрахунки вакуум-апаратів базуються на матеріальному балансі процесу випарювання.

Кількість випаровуваної вологи розраховують за формулою:

$$M_w = M_{cM} \left( 1 - \frac{a_1}{a_2} \right), \quad (7.22)$$

де  $M_{cM}$  – кількість вихідної молочної суміші, що надійшла на випарювання, кг;  
 $a_1$  – початковий вміст сухих речовин у суміші перед початком згущення, %;  
 $a_2$  – кінцевий вміст сухих речовин у продукті (на виході з вакуум-апарата), %.

Початковий вміст сухих речовин у вихідній суміші:

$$a_1 = \frac{M_{cM} \frac{C_{cM}}{100} + M_{cM} \frac{C_{цук}}{100}}{M_{cM} + M_{цук} + B} 100, \quad (7.23)$$

де  $C_{cM}$  – вміст сухих речовин у нормалізованій молочній суміші, %;

$M_{цук}$  – кількість цукру на варіння, кг;

$C_{цук}$  – вміст сухих речовин у цукрі, %;

$B$  – кількість води в сиропі, кг.

Щоб визначити кількість вологи, що випаровується за годину, кількість вологи, випаруваної за зміну, ділять на 6,5 год (середня тривалість роботи вакуум-апаратів за зміну за умови роботи протягом 19,5 год за добу). За цим показником підбирають продуктивність і кількість вакуум-апаратів.

*Миття вакуум-апаратів.* На поверхнях вакуум-апаратів, що гріють у результаті теплової коагуляції білків молока й осадження фосфорно-кальцієвих солей утворюється пригар (так званий молочний камінь). Це погіршує умови теплопередачі, і продуктивність вакуум-апарата знижується на 15...18%. Для зменшення утворення пригару в періодичнодіючих вакуум-апаратах необхідно якнайшвидше видаляти продукт під час їх зупинення. У вакуум-апаратах безперервної дії, де поверхня нагрівання постійно покрита циркулюючою рідиною, пригар значно менший, що збільшує тривалість роботи таких апаратів без миття.

На сьогодні широко застосовується хімічне миття вакуум-апаратів та іншого технологічного устаткування без розбирання. На молочноконсервних заводах процес безрозбірного миття автоматизований і виконується за заданою програмою.

Для дезінфекції вакуум-апарати обполіскують і пропарюють до температури всередині апарата не менш 85° С. Дезінфекція проводиться періодично шляхом обробки хлораміном та іншими препаратами з високою концентрацією хлору.

Після дезінфекції устаткування ретельно промивають гарячою та холодною водою. Якість миття устаткування періодично перевіряється лабораторними методами.

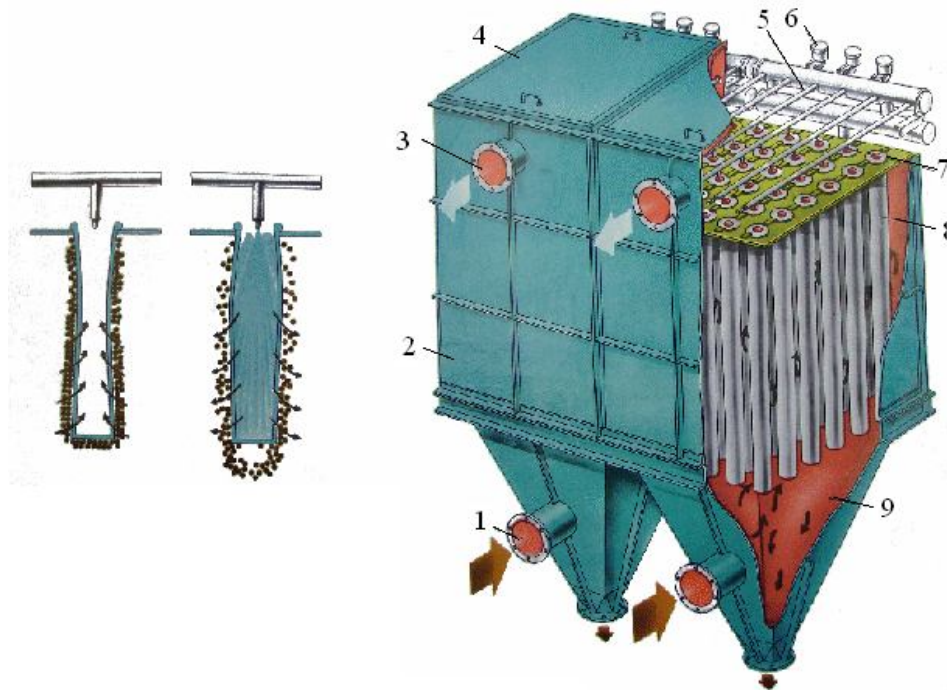
### **7.3. Додаткове устаткування розпилювальних сушарок і їх автоматизація**

#### *7.3.1. Додаткове обладнання для очищення відпрацьованого сушильного агента: фільтри, циклони, скрубери*

Залежно від розмірів сушильної камери в циліндричних камерах залишається 65...70% продукту, а 30...35% видаляється з повітрям, у камерах циліндроконічної форми осідає 30...35% сухого продукту і 65...70% видаляється з повітрям. Тому за сушильною камерою монтують пристрої для виведення сухого продукту з потоку повітря: рукавні матер'яні фільтри, циклони, електрофільтри, вторинні мокрі пиловловлювачі.

*Рукавний матер'яний фільтр* (рис. 7.1) складається з двох герметично закритих відділень. У кожному відділенні знаходиться до 144 матер'яних рукавів, виготовлених із бавовняної, вовняної або напіввовняної тканин, сукна, лавсану й ін. Діаметр рукавів 127...300 мм, довжина 2400...3500 мм. По довжині кожен рукав стягується п'ятьма металевими кільцями. Рукава, відкриті знизу та закриті зверху, підвішені гнучкими зв'язками до колінчатого важеля. Повітря, що несе сухе молоко, із сушильної камери по повітроводу потрапляє в робоче відділення та рівномірно розподіляється по всіх рукавах. Надходячи в них знизу, воно проходить через пори матерії, а сухий порошок осідає на внутрішніх поверхнях. За хвилину роботи сухий порошок повністю забиває всі пори тканини, опір повітря різко зростає та відбувається перемикання. Повітря з порошком починає надходити в друге відділення, а перший відключений рукав звільняють від продукту. Періодично за допомогою спеціального

вентилятора фільтри обдуваються зовнішнім повітрям, підігрітим до 60...70° С, щоб попередити конденсацію водяної пари та забивання фільтрів.



**Рисунок 7.1 – Пристрій для очищення відпрацьованого повітря за допомогою рукавних фільтрів: 1 – повітровід із сушильної камери; 2 – корпус; 3 – патрубок для підведення повітря; 4 – кришка; 5 – колектор стисненого повітря; 6 – клапанна секція; 7 – підвід стисненого повітря; 8 – рукав; 9 – бункер**

Витрата електроенергії під час роботи матер'яного фільтра становить 2...5 кВт на 10000 м<sup>3</sup> повітря за годину. Матер'яні фільтри забезпечують високий (95...98%) ступінь очищення. Разом із тим у них є багато недоліків: громіздкість, складність струшувального механізму, необхідність частого прання фільтрів, обмеженість терміну дії (до року).

Циклони (рис. 7.2) належать до відцентрових пиловіддільників. За конструкцією вони являють собою посудину циліндричної форми діаметром  $D$ , усередині якої вбудована центральна труба діаметром  $d$  для відведення очищеного повітря. У верхній частині циліндра, тангенціально до його поверхні, по довжині половини кола розташований вхідний патрубок, а нижня його частина переходить у конус із кутком не більше 60°, що зв'язаний із пилозбірним герметичним бункером.

Швидкість повітря на вході в циклон 12...25 м/с, а у вихідній трубці – 3...8 м/с. Конструкція циклона забезпечує обертальний рух суміші повітря із сухим продуктом по гвинтовій лінії в просторі між циліндром циклона та вихідною трубою. Повітря в циліндричній частині робить 3–4 витки. У результаті обертання суміш під дією відцентрової сили розділяється: частинки сухого молока, що мають більшу, ніж повітря, густину, відкидаються до стінок циліндра, втрачають свою швидкість і під дією сили тяжіння осідають у конус. Повітря, очищене від продукту, направляєється всередину циліндра та видаляється з циклона через центральну вихідну трубу.

Відокремлювальний ефект зростає зі збільшенням швидкості руху повітря та зменшенням ширини потоку. Тому замість одного циклона великого діаметра рекомендується застосовувати декілька, що працюють паралельно, із діаметром циліндра не більше 600 мм. Ступінь очищення повітря залежить також від величини частинок і за розміру вище 20 мкм досягає 100%. Основні переваги циклона: простота конструкції, легкість виготовлення, відсутність частин, що рухаються.

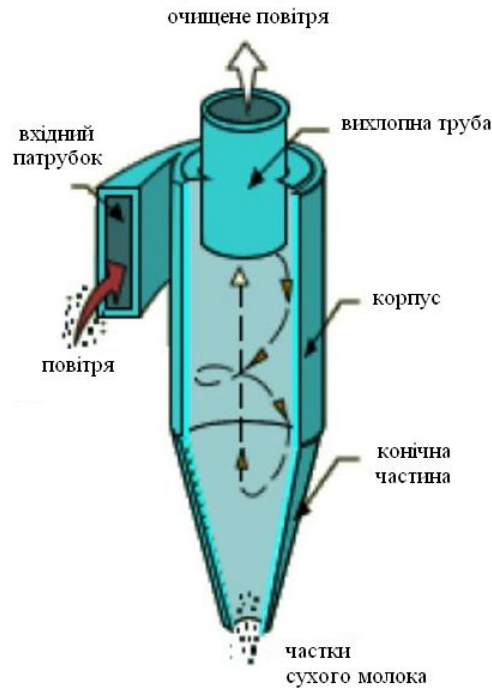


Рисунок 7.2 – Схема циклона

Більшість циклонів працює на усмоктування. Гідравлічний опір циклона визначається за рівнянням:

$$\Delta p = k \frac{\rho_n v_u^2}{2g}, \quad (7.23)$$

де  $\rho_n$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$v_u$  – швидкість повітря в циліндрі циклона, м/с;

$k$  – коефіцієнт гідравлічного опору (60...180).

$$v_u = \frac{4L}{\pi D_u^2}, \quad (7.24)$$

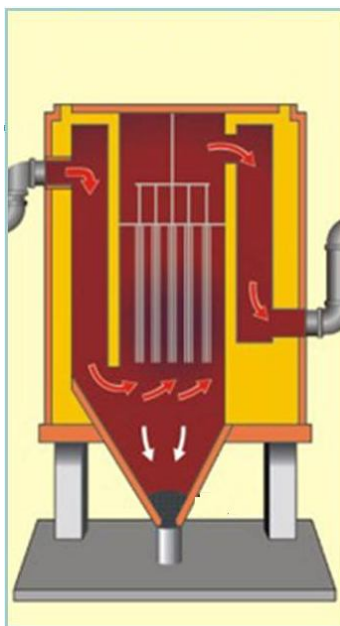
де  $L$  – секундна витрата повітря, м<sup>3</sup>/с;

$D_u$  – діаметр циклона, м.

Батарейні циклони малих діаметрів ( $D=150...250$  мм) називають мультициклонами. Обертання повітря в них відбувається за рахунок розеток із

лопатками, розташованих під кутом 20...30° до осі циліндра, або гвинтоподібних лопат, розміщених між стінкою циліндра та вихідною трубою.

В *електрофільтрах* повітря, що несе сухі частинки, проходить між електродами, із яких один електризує, інший – осаджує. До першого електрода подається постійний електричний струм високої напруги, під впливом якого сухі частинки одержують заряд того ж знака. Під дією електростатичного поля вони відштовхуються від зарядженого електрода та осаджуються на електроді, який заземлений.



**Рисунок 7.3 – Електрофільтр**

Цей метод характеризується високим ступенем очищення (до 99% і вище) за порівняно невеликих витрат електроенергії (1...8 кВт на 10000 м<sup>3</sup> за годину), але електрофільтри поки не одержали широкого поширення під час очищення повітря від сухого молока.

*Мокрі пиловловлювачі* встановлюють після сухих пилоосаджувачів для остаточного очищення повітря. Під час їх використання ефективність очищення повітря досягає 99,5...99,7%.

Існує багато конструкцій мокрих пиловловлювачів. Для очищення сухих харчових порошоків, де потрібно створити стерильні умови, що виключають розвиток мікроорганізмів, використовують мокрі скрубери – вертикальні циліндри з конусною підставкою (рис. 7.4).

Скрубери Вентурі є найбільш ефективними апаратами, призначеними для мокрого очищення повітря. Вони забезпечують високий ступінь очищення (до 95,7%). Їх недолік – великі гідравлічні втрати та необхідність установки краплеуловлювачів. Принцип роботи скрубера Вентурі такий. Відпрацьований сушильний агент вентилятором подається у вертикальний патрубок, на виході з якого створюється розрідження. У цю зону подається рідина кільцевим



колектором, куди вона надходить зі збірної бачки. Подана через живильний отвір рідина розпилюється в трубці Вентурі високошвидкісним потоком повітря.



Рисунок 7.4 – Скрубер Вентурі

Осадженню крапель рідини на стінках роздільника сприяє завихрювач потоку. Рідина, що виділилась у роздільнику, по трубопроводу повертається в збірний бачок. Кратність циркуляції рідини можна регулювати. Очищений потік сушильного агента по повітропроводу викидається в атмосферу за температури близько 42° С.

### 7.3.2. Обладнання для транспортування порошкового матеріалу

Пристрої для вивантаження сухого продукту з камери можна підрозділити на чотири основних типи: скребкові, пневматичні, стрічкові або вібраційні транспортери, гравітаційні пристрої.

Скребкові пристрої забезпечують вивантаження сухого продукту за рахунок того, що по дну камери обертаються вільно насаджені на штанги скребки. Під час обертання скребки пересувають сухий продукт до отворів у дні камери. Через ці отвори, продукт потрапляє в бункер або безпосередньо на транспортувальний пристрій. Скребкові пристрої застосовують у сушильних камерах, які мають плоске днище, а також у камерах, дно яких має невеликий нахил (не більше 45°). Пристрої цього типу найбільш прийнятні для вивантаження малогіроскопічних молочних продуктів із невисоким вмістом жиру.

Пневматичні пристрої, принцип дії яких заснований на відсмоктуванні молочного порошку, що осів на дні сушильної камери, придатні для вивантаження багатьох видів молочних продуктів. Разом із тим їх не рекомендується використовувати для вивантаження агломерованих і високожирних продуктів. Як правило, пневматичні пристрої застосовують у камерах, днища яких мають невеликий (9...12°) кут нахилу до горизонтальної площини.

Пристрої на основі *стрічкових* або *вібраційних транспортерів* не отримали широкого поширення в техніці сушіння молочних продуктів. Проте їх використання перспективне, тому що вони придатні для видалення із сушильної камери практично всіх видів молочних продуктів. Вони незначно впливають на структуру порошку, а також дозволяють здійснювати на цій стадії додаткові процеси обробки продукту (охолодження, агломерацію тощо).

*Гравітаційні пристрої* для вивантаження сухого продукту фактично не мають будь-яких конструктивних елементів. Їх функцію виконує конічне днище сушильної камери. У цьому разі воно повинно мати великий кут нахилу ( $\sim 60^\circ$ ). До переваг цих пристроїв належить можливість видалення із сушильної камери молочного порошку з різними фізико-хімічними й адгезійними властивостями, одержання додаткового циклонного ефекту в сушильній камері, а також простота конструкції.

Для випускання молочного порошку з бункерів сушильних камер, а також циклонів застосовують різні живильники та затвори: шлюзові живильники з обертовим лопатковим барабаном, затвори типу хитних клапанів (блимавки) тощо.

У комплект сучасних розпилювальних сушильних установок входять *вібраційні апарати* різного призначення: для просівання й охолодження молочного порошку, для одержання агломерованих сухих молочних продуктів, які оснащені вібраційними апаратами для досушування й охолодження молочного порошку.

За способом теплопередачі вібраційні апарати для теплової обробки молочного порошку поділяють на апарати конвективного та кондуктивного типів. Найбільш широке поширення одержали апарати конвективного типу. Швидкість переміщення молочного порошку на перфорованих пластинах вібраційних апаратів регулюють двома способами: зменшення швидкості переміщення досягається зниженням частоти коливань перфорованої пластини або зміною напрямку коливань перфорованої пластини щодо горизонталі.

Загальним недоліком вібраційних апаратів для теплової обробки порошкоподібних молочних продуктів є необхідність збільшення виробничих площ, що займає сушильна установка. Як правило, зазначені апарати забезпечуються автономними пристроями для подачі і підігріву (охолодження) повітря, а також його очищення. Це призводить до ускладнення та подорожчання сушильної установки в цілому.

Для транспортування сухих молочних продуктів, що вивантажуються з розпилювальних сушильних установок, застосовують пневмотранспортні установки, стрічкові, скребкові, гвинтові (шнекові) транспортери, норії та ін.

*Пневматичне транспортування* здійснюється потоком повітря, що захоплює в процесі свого руху зважені частинки продукту. Їх застосовують для видалення молочного порошку із сушильних камер, подачі його в бункери проміжного збереження, міжцехового транспортування та повернення дрібних фракцій молочного порошку в сушильну установку для агломерації, а також для охолодження продукту.

Перевагами пневматичного транспортування є простота конструкції, відсутність робочих елементів, що рухаються, які торкаються з молочного порошку, можливість транспортувати порошок на великі відстані та охолоджувати його в ході цього процесу.

Недоліки систем пневматичного транспортування такі: ускладнюється їх застосування для високожирних продуктів – сухих вершків і сухого масла, а також продуктів із підвищеною вологістю та схильних до злипання; порівняно висока витрата електроенергії; підвищений знос; необхідність очищення повітря; зміна структури частинок; погіршення властивостей більшості сухих молочних продуктів.

За величиною тиску розрізняють пневмотранспортні установки з низьким, середнім і високим тиском.

У *пневмотранспортних установках низького тиску* різниця тиску в системі становить менше 8 кПа, концентрація суміші 0,1...4 кг на 1 кг повітря, швидкість руху повітря 20 м/с і більше, діаметр трубопроводу 0,1...0,2 м і більше. Вони вимагають значно більших за розміром пристроїв для очищення відпрацьованого повітря порівняно з подібними пристроями для установок середнього та високого тиску.

*Пневмотранспортні установки високого тиску* (аерозоль-транспортні установки) працюють у режимі нагнітання. Вони оснащені компресорами або повітродувками, що забезпечують надлишковий тиск понад 50 кПа. Під час аерозольного транспортування продукту концентрація суміші становить 20...200 кг на 1 кг повітря, швидкість руху повітря 4...7 м/с, діаметр трубопроводів 0,03...0,08 м.

Різновидом пневмотранспортних установок є аерожолоби, принцип дії яких заснований на аерації шару молока, що подається через пористу перегородку. При цьому частинки порошку стають рухливими, що дозволяє забезпечити рух шару порошку в жолобі за невеликого нахилу. По висоті жолоб розділений на верхню та нижню частини, між якими встановлена пориста перегородка. У нижню частину аерожолоба вентилятором нагнітається повітря під тиском  $(4...6,5) \cdot 10^4$  Па. Як пориста перегородка використовується пориста кераміка або багатошарова технічна тканина.

Переваги аерожолобів: простота конструкцій; відсутність робочих елементів, що рухаються; мала витрата електроенергії; відсутність механічного впливу на продукт.

Недоліки аерожолобів: обмеженість довжини транспортування; неможливість транспортування молочного порошку по нахилу нагору; ускладнене охолодження та транспортування вологого молочного порошку.

Для *фасування сухих молочних продуктів* застосовують автоматичні лінії й автомати, тип яких залежить від виду пакувальної тари. Для фасування сухих молочних продуктів у паперові мішки з поліетиленовим вкладишем застосовують агрегат У6-ОФА. Агрегат виконує такі технологічні операції: заправлення поліетиленового вкладиша в паперовий мішок, закріплення мішка на дозаторі, дозування продукту в мішок до визначеної маси (25...30 кг), знімання мішка з дозатора та передача його на вібростіл для ущільнення,

передача мішка з вібростолу на ультразвукову установку для зварювання поліетиленового вкладиша, звільнення та передача мішка на транспортер, зашивання верху мішка, передача мішка на внутрішньоцеховий транспортер.

Для упакування сухих молочних продуктів у прямокутні картонні коробки з комбінованим вкладишем застосовують автомати фірми «Хессер». Зазначене устаткування дозволяє упакувати готовий продукт у вакуумі з наступним уведенням азоту в упаковку. Автомат складається з вузлів формування пакетів і вкладишів, дозування та наповнення, відбраковування нестандартних упакувань за масою, вакуумування й азотування, зварювання вкладишів і заклеювання пакетів, укладання пакетів у коробки.

### 7.3.3. Устаткування для очищення, переміщення та підігрівання сушильного агента

Сушильний агент, що надходить у сушильну камеру, не повинен містити ніяких механічних домішок (пилу) і шкідливих газоподібних речовин, що можуть перейти в продукт. Як *пристрої для очищення повітря*, що надходить у калорифери, найчастіше застосовують різні фільтри. У техніці сушіння молочних продуктів широке поширення отримали касетні фільтри. У більшості фільтрів цього типу фільтрувальні елементи промаслюються. Як фільтрувальні елементи використовують гофровані металеві пластини або сітки, перфоровані металеві або вініластові аркуші, а також набивання зі скляних або синтетичних волокон. Ефективність очищення повітря, що подається на сушіння, становить 80%. На практиці застосовують також різні конструкції тканинних фільтрів. У розпилувальних сушильних установках для нагрівання повітря застосовують різні *калорифери* (повітронагрівачі). Серед них найбільше поширення одержали парові пластинчасті калорифери. Коефіцієнт корисної дії парових калориферів досить високий і становить 97...99%. При цьому калорифери з нержавіючої сталі можна експлуатувати за підвищених температур. Подібні калорифери здатні забезпечити нагрівання повітря з витратою 62000 кг/год до температури 175...180° С за тиску пари, що гріє,  $12,5 \cdot 10^5$  Па. Повітря, що надходить для підігрівання в парові калорифери, доцільно забирати з верхньої частини приміщення цеху. Це дозволяє використовувати для сушіння повітря більш чисте в бактеріальному відношенні та знизити енерговитрати на його підігрів.

У вітчизняній і закордонній практиці все більш широке застосування одержують повітронагрівачі, що працюють на рідкому або газоподібному паливі, тобто вогневі калорифери. У вогневих калориферах як паливо часто застосовують мазут, нагрітий до 118° С, який подається під тиском  $18 \cdot 10^5$  Па.

Для подачі повітря в сушарку застосовують *вентилятори* низького (до 1000 Па), середнього та високого тиску (понад 2000 Па). Продуктивність вентиляторів під час роботи регулюють, змінюючи положення шибера на нагнітальному трубопроводі. Під час експлуатації вентиляторів варто мати на увазі, що їх продуктивність, напір, що вони створюють, і споживана потужність визначаються частотою обертання робочого колеса. Елементи розпилувальної

сушильної установки (сушильна камера, конвективні вібраційні сушарки, циклони, фільтри) з'єднуються між собою системою повітропроводів. Їх виготовляють зазвичай із тонколистової нержавіючої сталі. Для виключення відкладень молочного порошку на внутрішніх поверхнях повітропроводів доцільно уникати їх горизонтального розташування. На горизонтальних ділянках повітропроводів швидкість руху повітря повинна бути не менше 20...25 м/с.

Розпилювальне сушіння – досить енергоємний процес виробництва. Для підігрівання повітря, що подається на сушіння за рахунок теплоти відпрацьованого сушильного агента застосовують *рекуператори* – теплообмінні апарати трубчастого та пластинчастого типу. Відпрацьоване повітря, проходячи через рекуператор, дозволяє забезпечити підігрів повітря з 20...25 до 50...65° С. Застосування рекуператорів дозволяє знизити витрати пари на сушіння на 15...23%.

## **7.4. Технологія сушеного молока та кисломолочних продуктів**

### *7.4.1. Класифікація сушених молочних консервів та технологічних схем їх виробництва*

Класифікують сухі молочні продукти за двома основними ознаками: видом продукту та способом сушіння. За видом сухі молочні продукти можна розділити на такі основні групи: сухе молоко, сухі вершки, сухі кисломолочні продукти, сухі молочні продукти з вторинної сировини, сухі тверді молочні продукти.

У свою чергу *сухе молоко* можна підрозділити на сухе незбиране молоко та молоко зі зниженим вмістом жиру. *Сухі вершки* підрозділяють на сухі вершки та сухі високожирні вершки (сухе масло). *Сухі кисломолочні напої* підрозділяють на сухі кисляк, йогурт, ацидофілін, кефір, сметану, кумис.

До *сухих молочних продуктів із вторинної сировини* належать сухі знежирене молоко, склотини, сироватка. До *сухих твердих молочних продуктів* належать сухі сир, казеїн, різні молочно-білкові концентрати; до *сухих молочних продуктів спеціального призначення* – сухі дитячі молочні продукти, сухі замітники незбираного молока та сухе морозиво.

Нараховується багато видів *сухих молочних продуктів із наповнювачами*. Основними з них є сухе незбиране молоко із цукром, із кавою, із какао та цукром, сухі вершки із цукром, із кавою, із какао та цукром. До сухих кисломолочних продуктів із наповнювачами належать солодкий йогурт, ацидофільна паста, йогурт із плодово-ягідними наповнювачами.

За способом сушіння сухі молочні продукти можна розділити на *сухі продукти розпилювального сушіння, кондуктивного (плівкового) сушіння, сублімаційного сушіння*, сухі продукти, отримані із застосуванням інших способів сушіння, зокрема *радіаційного*.

На сьогодні для вироблення сухих молочних продуктів застосовують переважно сушарки розпилювального типу, а для виробництва сухого

знежиреного молока, сухих скотин і сироватки – сушарки кондуктивного типу (вальцьові). Казеїн виробляють на сушарках киплячого шару, або стрічкових. Сухі кисломолочні продукти високої якості одержують на сушарках сублімаційного типу.

Деякі сухі молочні продукти, зокрема сухе незбиране молоко, сухе молоко зі зниженим вмістом жиру та сухе знежирене молоко, можна класифікувати за ознакою, пов'язаною зі швидкістю розчинення. На сьогодні ці продукти підрозділяють на *продукти звичайної розчинності* та *швидкорозчинні*.

Усі технологічні процеси виробничого циклу одержання сухих продуктів можна підрозділити на дві групи. До першої групи належать процеси обробки вихідної сировини до сушіння, до другої – усі наступні процеси, починаючи із сушіння. Технологічні процеси першої групи є загальними для виробництва багатьох молочних продуктів, другої групи – специфічними, тобто характерними тільки для виробництва сухих продуктів.

#### 7.4.2. Технологія сушеного незбираного молока

Сухе незбиране молоко має вигляд порошку білого кольору з легким кремовим відтінком і в середньому містить 4% води, 25% жиру, 26,5% білків, 38,5% молочного цукру, 6% мінеральних речовин. Кислотність відновленого молока за вмісту сухих речовин 12% не більше 20° Т, розчинність не більше 0,15 мл осаду. Насипна густина 480...600 кг/м<sup>3</sup>.

*Технологічний процес* виробництва сухого незбираного молока складається з таких операцій: *приймання, попередній підігрів, очищення (бактофугування), стандартизація, пастеризація, згущення, гомогенізація, сушіння, охолодження, розфасування, упакування.*

Під час виробництва сухого молока іноді заморожують згущене молоко, яке потім зберігають за мінусових температур. Після збереження таке молоко розморожують, підігрівають і сушать. До заморожування згущеного молока удаються, як правило, узимку на невеликих підприємствах, звідки його направляють для подальшого перероблення на головний комбінат.

Для сушіння молоко *стандартизують* виходячи з планового складу готового продукту: води – 3%, жиру – 26,1%, сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ) – 70,9%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,368. Щоб уникнути окиснювання під час тривалого зберігання молочну суміш пастеризують за температури не нижче 95° С.

Попереднє згущення нормалізованої суміші відбувається у вакуум-випарних установках безперервної дії циркуляційного типу або в апаратах із падаючою плівкою. Молоко *згущають* до вмісту сухих речовин 42...50% залежно від способу розпилення. Останнім часом намітилася тенденція до підвищення в процесі згущення концентрації сухих речовин молока. У вакуум-випарних установках безперервної дії, особливо з падаючою плівкою, згущення молока до 52...58% відбувається за 3...4 хв. Збільшення концентрації сухих речовин перед сушінням поліпшує якість сухого продукту, зменшує в ньому вміст повітря та збільшує насипну масу, зменшує вміст вільного жиру в сухому

молоці, поліпшує економічні показники всього процесу за рахунок підвищення продуктивності розпилювальної сушильної установки та зниження витрат теплоти.

*Гомогенізують* згущене молоко під тиском 10...15 МПа. Цей процес спрямований на зменшення кількості вільного жиру. Після згущення молока частина жирових кульок знаходиться в дестабілізованому стані і, якщо не проводити гомогенізацію, у сухому продукті може утворитися до 9% вільного жиру. У процесі збереження такий продукт набуває прогірклий, лойовий присмак. Ефективність гомогенізації підвищується за збільшення тиску до 15...17,5 МПа.

Найбільш ефективні *прямотечійні розпилювальні сушарки*. Температура сушильного агента в них 180...200° С. Після закінчення сушіння виключають нагнітальний вентилятор і калорифери, залишаючи в роботі витяжний вентилятор для охолодження сушильної камери. Після охолодження внутрішню поверхню сушильної камери ретельно очищають уручну або механізовано спеціальним металевим кільцем за допомогою лебідок. Диски та форсунки знімають, очищають від порошку, промивають і просушують.

Сухе молоко на виході має температуру 55...60° С, яка вище точки плавлення молочного жиру. Це може призвести до руйнування оболонкової речовини жирових кульок і витоплювання жиру. У результаті знижується розчинність сухого молока, воно окиснюється та гіркне. Для запобігання цього, а також для запобігання грудкуванню, сухе молоко перед розфасуванням охолоджують. Охолодження продукту відбувається протягом декількох секунд під час переміщення його пневмо- або аерозольтранспортом або протягом декількох хвилин у спеціальних апаратах із вібруючим ситом або киплячим шаром. Сухе молоко як гігроскопічний продукт легко поглинає водяну пару з повітря, тому повітря, яке застосовується для охолодження, попередньо зневоднюють, пропускаючи через охолоджувальні батареї. Сухе молоко охолоджують до температури нижче точки плавлення молочного жиру (20...25° С).

#### 7.4.3. Технологія сушених вершків

*Сухі вершки* виробляють із цукром і без цукру. Сахароза збільшує харчову цінність продукту та підвищує його стійкість. Цукровий сироп під час збереження висихає у вигляді плівки й зберігає молоко від окисного псування.

Сухі вершки з цукром і без цукру являють собою дрібний порошок білого кольору з кремовим відтінком, що включає крупинки цукру, зі смаком і запахом, властивими пастеризованим вершкам, без стороннього присмаку та запаху. Готовий продукт повинен містити: вологи – не більше 4%, жиру – не менше 42% (продукт без цукру) і не менше 44% (продукт із цукром). Кислотність вершків, відновлених до вмісту 14...17% сухих речовин, повинна становити не більше 20° Т (продукт без цукру) і не більше 19° Т (продукт із цукром). Розчинність для вищого сорту – 0,2 мл сирого осаду, для 1 сорту – 0,6 мл. Загальна кількість мікроорганізмів, що містяться в 1 г продукту, не

повинна перевищувати 50000 для вищого сорту та 100000 для першого. Не допускається наявність патогенних мікроорганізмів і кишкової палички.

*Технологічний процес* виробництва сухих вершків складається з таких операцій: *приймання, попереднє підігрівання, очищення (бактофугування), сепарування молока, нормалізація та пастеризація вершків, згущення, гомогенізація, сушіння, охолодження, розфасування, упакування.*

*Стандартизацію* проводять, виходячи з планового складу готового продукту: води – 2,5%, жиру – 43,5% (продукт без цукру), 44,8% (продукт із цукром), СЗМЗ відповідно – 54 і 42,2%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,806 і 1,06, цукру (у продукті з цукром) – 10,5%.

Під час виготовлення сухих вершків із цукром цукровий сироп додають у згущені вершки за рівних температур обох компонентів (близько 60° С). Усі інші операції аналогічні прийнятим під час вироблення сухого незбираного молока.

*Сухі високожирні вершки* мають вигляд сухого дрібнозернистого порошку (із розміром жирових кульок – 15...45 мкм) кремового кольору, для них характерні специфічні солодкуваті смак і запах. У готовому продукті повинно міститися жиру – не менше 75%, води – не більше 3%, СЗМЗ – не менше 22 %.

Виробляють сухі високожирні вершки за технологією сухого незбираного молока на основі молока кислотністю не вище 20° Т і свіжих вершків жирністю 30...32% та кислотністю по плазмі не вище 28° Т. Суміш стандартизують, виходячи з планового складу готового продукту: жиру – 76%, СЗМЗ – 22%, води – 2%, співвідношення жир/СЗМЗ – 3,46%.

#### 7.4.4. Технологія сушених кисломолочних продуктів

*Сухі кисломолочні продукти* – це сухі сметана, кефір, кисляк звичайний і дієтичний, ацидофільне молоко. Їх виробництво засноване на здатності молочнокислих мікроорганізмів тривалий час (до десяти років) знаходитися в стані анабіозу.

Кисломолочні сухі продукти мають вигляд дрібнодиспергованого порошку від світло-кремового до кремового кольору та мають смак і запах властивий незбираному молоку (суха сметана – властивим сухим вершкам), зі слабко вираженою кислотністю, без стороннього присмаку та запаху. Хімічний склад сухої сметани: жиру – не менше 65%, СЗМЗ – не менше 30%, води – не більше 4%, інших продуктів відповідно – 25, 70, 4%. Розчинність повинна бути не більше 0,3 мл сирого залишку. Кислотність відновлених продуктів за вмісту сухих речовин 12,5% не повинна перевищувати 25° Т, у розрахунку на 100 г сухого порошку – не більше 150° Т. Тривалість заквашування відновлених молочнокислих продуктів за температури 37...40° С встановлена в межах 7...12 год, для сметани – не більше 16 год.

*Суху сметану* готують за технологією сухих вершків. Під час виробництва сухої сметани вершки нормалізують незбираним або знежиреним



молоком, виходячи з планового складу готового продукту: жиру – 66%, СЗМЗ – 31%, води – 3%, співвідношення жир/СЗМЗ – 2,13.

*Технологічна схема* виробництва сухого кефіру, кисляку, ацидофільного молока складається з таких операцій: *приймання, попередній підігрів, очищення (бактофугування), стандартизація, пастеризація, згущення, гомогенізація, охолодження, унесення заквасок і переміщування, сушіння, охолодження, розфасування, упакування.*

Після гомогенізації згущену суміш охолоджують до температури 40...48° С (сухий кефір до 35...40° С), уносять закваски чистих культур молочнокислих бактерій кислотністю 90...150° Т залежно від виду культур, ретельно перемішують і негайно подають на розпилювальне сушіння.

Плановий склад кисломолочних продуктів однаковий: жиру – 26,1%, СЗМЗ – 70,9%, води – 3%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,368.

*Склад бактеріальної закваски* залежить від виду продукту, що виробляється, для сухих сметани та кисляку звичайного – із болгарської й ацидофільної паличок і термофільного стрептокока; сухого кисляку дієтичного – із болгарської й ацидофільної паличок, термофільного стрептокока, негемолітичного ентерокока та стрептобактерій; закваска сухого ацидофільного молока включає ацидофільну паличку, сухого кефіру – кефірний гриб. Кількість внесеної закваски під час вироблення сухої сметани становить 1% маси згущеної суміші, інших сухих кисломолочних продуктів – 8...12%.

#### *7.4.5. Технологія сухого знежиреного молока, сухої сироватки та скотин, замінників незбираного молока*

На сьогодні виробництву сухих знежиреного молока, сироватки та замінників незбираного молока приділяється особлива увага як одному з елементів безвідхідної технології під час комплексної переробки молока.

*Сухе знежирене молоко.* Залежно від способу сушіння розрізняють сухе знежирене молоко (СЗМ), що одержується в розпилювальних сушильних установках, і плівкове, що висушується у вальцових сушильних апаратах. *Технологічний процес* виробництва сухого знежиреного молока складається з таких операцій: *приймання, попереднє підігрівання, очищення (бактофугування), сепарування молока, пастеризація знежиреного молока, згущення, сушіння, охолодження, розфасування, упакування.*

Технологічні процеси виробництва сухих вершків і сухого знежиреного молока можна варіювати. У тому разі, якщо вершки та знежирене молоко одержують безпосередньо на комбінаті шляхом сепарування незбираного молока, то власне процес виробництва починається із сепарування незбираного молока.

До СЗМ молока ставляться такі ж вимоги, як під час виробництва інших молочних консервів. Під час виготовлення СЗМ у суміш допускається вводити до 20% скотини кислотністю не більше 22° Т, отриманої під час вироблення вершкового несолоного масла. СЗМ має містити не більше 4% води під час

розфасування в герметичне упакування і не більше 7% під час негерметичного упакування, кислотність відповідно не більше 21 і 22° Т. Розчинність не повинна перевищувати 0,1 мл сирого осаду для СЗМ розпилювального сушіння, розфасованого в герметичну тару, 0,8 мл – у негерметичну і 1,5 мл для плівкового сушіння, густина – 550...560 кг/м<sup>3</sup>. Смак і запах СЗМ відповідають властивим свіжому пастеризованому знежиреному молоку під час розпилювального сушіння та сильно пастеризованому під час плівкового. Не допускаються сторонні присмак і запах, крім легкого кормового присмаку. Колір білий, із легким кремовим відтінком за розпилювального сушіння та кремовий за плівкового, консистенція порошкоподібна, під час розпилювального сушіння – дрібнодисперсна. Загальна кількість мікроорганізмів у 1 г СЗМ, призначеного для безпосереднього вживання, не повинна перевищувати 50000, наявність кишкової палички та патогенних мікроорганізмів не допускається. Гарантійний термін зберігання СЗМ у герметичному упакуванні – вісім, у негерметичному – шість місяців.

*Суха молочна сироватка* виробляється з підсирної та сирної сироватки методами розпилювального й вальцьового сушіння.

Молочна сироватка являє собою вторинний продукт, що виділяється в процесі синерезису з білкового згустку під час виробництва сиру (у кількості 75% маси вихідної сировини), сиру (80%), казеїну (75%) і бринзи (65%). У неї переходить до 48...52% сухих речовин молока. Молочна сироватка містить 93,5...94% води, 0,2...0,4% жиру, 0,7...1% білка, 4,2...4,5% лактози, 0,5...0,6% мінеральних речовин (у перерахуванні на суху масу – 70% молочного цукру, 14,5% білка, 7,5% жиру і близько 8% мінеральних речовин). Молочний жир сироватки складається з дрібнодиспергованих жирових кульок діаметром 0,05...0,1 мкм. Фізичні властивості молочної сироватки: густина – 1018...1027 кг/м<sup>3</sup>, теплоємність – 3,98 кдж/(кг·К); теплопровідність – 0,54 Вт/(м·К), кислотність – 11...15° Т підсирної і 65...75° Т сирної.

Молочну сироватку та продукти її переробки використовують у хлібопекарській, м'ясній та кондитерській промисловості, під час виготовлення продуктів дитячого, дієтичного й лікувального харчування, плавлених сирів, медичних препаратів, а також під час одержання поліуретанових смол, миючих засобів, косметичних препаратів та ін.

*Схему технологічного процесу* виробництва сухої підсирної або сирної сироватки з попередньою кристалізацією лактози можна подати таким чином: *приймання сироватки, пастеризація, охолодження, резервування, згущення, кристалізація лактози, сушіння, охолодження, фасування.*

Якщо цех переробляє сироватку від декількох сирних заводів, технологічний процес починається з її пастеризації. Цей процес здійснюють у пластинчастих пастеризаторах за температури 72° С із витриманням 15 с, щоб не викликати коагуляції білкових речовин. Потім сироватку охолоджують до температури 5...10° С і подають у танк. Кислотність вихідної сироватки не повинна перевищувати 20° Т.

Згущають сироватку у вакуум-випарних установках до вмісту сухих речовин 18...24% під час наступного вальцьового сушіння, 37...40% – під час розпилювального. Згущення проводиться за невисоких температур (50...60° С), що попереджає карамелізацію лактози. Кислотність згущеної підсирної сироватки, що направляється на розпилювальне сушіння, повинна бути 100...110° Т, під час вальцьового сушіння – 50...75° Т. Із вакуум-випарного апарата згущену сироватку подають у проміжну місткість – кристалізатор.

На розпилювальній сушильній установці згущену сироватку сушать за температури повітря в зоні розпилення 160...170° С та 62...75° С на виході із сушильної камери. Потім її подають на охолодження до температури 20...25° С і на вібраційне сито для просіювання.

Сушіння на вальцьовій сушильній установці відбувається за тиску пари у вальцях 0,45 МПа, зазор між вальцями в холодному стані – 0,8...1,2 мм.

На вироблення 1 т сухої молочної сироватки витрачається 16,5 т підсирної і 18 т сирної сироватки (з урахуванням втрат сухих речовин, що складають до 10%).

Суша молочна сироватка являє собою сухий гігроскопічний порошок від кремового до жовто-зеленого кольору, солодкувато-солонуватого, злегка кисло-сироваткового смаку й запаху, без сторонніх присмаку та запаху. Допустимий вміст вологи в продукті – не більше 5%, кислотність відновленої сироватки (до вмісту сухих речовин 6,5%) – не більше 20° Т для підсирної і не більше 75° Т для сирної, розчинність – не більше 0,8 мл сирого осаду для розпилювального сушіння та не більше 1,5 мл під час вальцьового. Наявність патогенних мікроорганізмів не допускається.

За температури 20° С і відносної вологості повітря 80% рівноважна вологість сухої сироватки становить 16%. Тому продукт, призначений для тривалого зберігання, необхідно упаковувати герметично.

Для інтенсифікації молочної сироватки рекомендується проводити попередню кристалізацію лактози, а перед сушінням кислої сирної сироватки попередньо розкислювати концентрат. Суша молочна сироватка належить до термопластичних матеріалів і здатна розплавлятися під час контакту з нагрітими поверхнями. Тому в розпилювальній сушильній установці за високої температури сухий порошок сироватки може розплавитися на внутрішній поверхні сушильної камери з утворенням липкої тістоподібної маси. Температура плавлення сухої сироватки знижується зі збільшенням кислотності та вологовмісту (за 118° Т і  $W=5,8$  % часткове плавлення сироватки починається за температури 50° С, а за 29° Т і  $W=4$  % температура плавлення становить близько 80° С).

У сухій молочній сироватці частина лактози перебуває в аморфному стані, під час швидкого сушіння вона не встигає перейти в кристалічну форму. Чим більше лактози перейшло в кристалічну форму, тим меншу гігроскопічність і спікливість частинок має продукт. Згущену сироватку подають у кристалізатор, за безперервної роботи мішалки швидко проохолоджують до температури масової кристалізації (30...32° С) і вносять запал (рафінований молочний цукор). Кристалізація лактози триває 2 год, після

чого сироватку охолоджують до 15° С. Завдяки такій обробці під час наступного сушіння на стінках камери не утворюється нальоту порошку, суха сироватка стає негігроскопічною та не злежується під час зберігання.

Для виробництва сухих сколотин використовуються аналогічні технологічні схеми. *Технологічний процес виробництва сухих сколотин*, що одержується під час виробництва масла, складається з таких операцій: *збивання масла, пастеризація сколотин, згущення сколотин, охолодження, розфасування, упакування.*

У разі сушіння сколотин, що одержують під час сепарування вершків, схема технологічного процесу дещо інша: *сепарування вершків, згущення сколотин, сушіння, охолодження, розфасування, упакування.*

*Сухі замітники незбираного молока (ЗНМ).* На відгодовування молодняку домашньої худоби витрачається 12...15% валового надою. Застосування ЗНМ дозволяє істотно скоротити витрати незбираного молока на потреби тваринництва.

Застосовується кілька рецептур сухих ЗНМ, але *технологічний процес* їхнього виробництва в основному аналогічний і включає такі операції: *приймання, охолодження та зберігання знежиреного молока й сколотин, пастеризація, згущення, підготовка компонентів, складання суміші, фільтрація, змішування, гомогенізація, сушіння, упакування та маркування.*

Для виготовлення ЗНМ застосовують знежирене молоко кислотністю не більше 20° Т та сколотини кислотністю не більше 22° Т у кількості до 30% маси знежиреного молока. Суміш знежиреного молока зі сколотинами охолоджують до 4...8° С і зберігають до переробки в танках.

Пастеризація проводиться за температури 85...90° С. Потім продукт фільтрують і подають у вакуум-випарну установку для згущення до вмісту сухих речовин 30...32% під час наступного сушіння на вальцьовій сушарці і до 40...43% під час розпилювального. Згущену суміш подають у танк. Кондитерський і кулінарний жири, попередньо розплавлені в казанах, насосом-дозатором подають у ванну з мішалкою. Сюди ж додають фосфатидні концентрати, розплавлені в гарячому жирі, жиророзчинні вітаміни А, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> і біоміцин. Усі компоненти перемішують і насосом перекачують через фільтр у танк зі згущеною сумішшю.

Суміш гомогенізують під тиском 10...15 МПа і подають у розпилювальну або вальцьову сушильну установку. Подальші операції відповідають прийнятим під час виготовлення сухого незбираного молока.

Виготовляється ЗНМ-2 за такою рецептурою: знежирене молоко – 39%, сколотини – 20%, підсирна несепарована сироватка – 39%, яловичий жир І сорту – 0,9%, рослинний жир гідрогенізований – 0,9%, фосфатидні концентрати харчові – 0,2%. У невеликих кількостях додають антибіотики. Сухий ЗНМ-2 містить білка – 22...23%, жиру – 20%, молочного цукру – 38...43%, води – 4...6%.

Замітник БІО-ЗНМ відрізняється наявністю молочної сироватки, на якій вирощують штам дріжджів роду *Torulopsis*, що дає високий вихід біомаси. Білок дріжджів за вмістом амінокислот подібний до білка молока, завдяки чому

сироватка збагачується не лише білком, але й вітамінами групи В, D і мікроелементами.

*Технологія виробництва БІО-ЗНМ* передбачає освітлення частини сироватки, культивування в ній дріжджів, згущення дріжджованої сироватки, знежиреного молока або сколотин, підсирної сепарованої сироватки, підготовку жиркових компонентів і вітамінно-мінеральних добавок, змішування, сушіння суміші. Підсирну сироватку, призначену для культивування дріжджів, підкисляють до рН 4,6...4,8 молочною кислотою, а сирну розкисляють аміачною водою до рН 5,5...5,8, потім нагрівають до 92...95° С і сепарують для відділення білків. Білки охолоджують до 5...10° С і зберігають до складання суміші. Освітлену сироватку згущають до вмісту сухих речовин 18...20%, нагрівають до 95...100° С, витримують 1 годину та охолоджують до температури, оптимальної для росту дріжджів. Для утворення білка, що відповідає молочному, у сироватку додають мінеральні солі та сечовину. Ферментація сироватки відбувається в дріжджевиросувальних апаратах, обладнаних мішалкою та барботером, через який подається повітря. Наприкінці дріжджування молочна сироватка повинна містити до 2,3% мікробного білка. Її нагрівають для інактивації живих клітин дріжджів і згущають до вмісту сухих речовин 44...46%.

Згущену суміш подають на розпилювальне сушіння. У готовому продукті повинно міститись: жиру – 20...21%, білка – 29...30% (із них ~50% мікробного), лактози – 28...30%, мінеральних речовин – 8...9%. На вироблення 1 т БІО-ЗНМ використовується 9 т молочної сироватки, при цьому заощаджується більш 6 т знежиреного молока. Крім розглянутих різновидів ЗНМ, виробляється *регенероване молоко*. Регенероване молоко випускається за окремими рецептурами для телят і поросят (у дужках): молоко сухе знежирене – 81 (71)%; жир яловичий – 4%; жир свинячий – 4 (19,5)%; жир кондитерський, кулінарний (сало рослинне) – 4%; кукурудзяний крохмаль – 2,45 (1)%; бутилгідроокситолуол – 0,025 (0,04)%; шоколадна есенція – 0,025 (0,06)%; премікси: емульгуючий – 2%, вітамінний – 1%, мінеральний – 0,5 (1,4)%.

*Технологія виробництва регенованого молока* включає такі операції: *приймання та підготовка жирів, готування сумішей сухих компонентів і преміксів, готування й охолодження регенованого молока, упакування та зберігання*. Поживну цінність і ефективність ЗНМ підвищує додавання рослинних білків (соку трав, що одержують під час пресування зеленої маси). Використання соку трав скорочує витрати знежиреного молока на 1 т ЗНМ приблизно на 40%. У результаті рентабельність виробництва підвищується в 1,8 разу.

## 7.5. Технологія сухого молока швидкої розчинності та сушених молочних сумішей

### 7.5.1. Технологія сухого молока швидкої розчинності

Швидкість розчинення сухого молока залежить від способів підготовки молока до сушіння, режимів, рівномірності розпилення, технології обробки сухого продукту, умов зберігання. На швидкість і повноту розчинення порошку насамперед впливає якість вихідного молока. Так, наявність у молоці молочного жиру з низькою точкою плавлення ( $19...21^{\circ}\text{C}$ ), підвищення вмісту сухих речовин у молоці під час згущення у вакуум-випарній установці поліпшують розчинність, а утворення вільного жиру в процесі обробки – її знижує. За розпилювального сушіння не слід допускати підвищення температури повітря, що відходить, понад  $75^{\circ}\text{C}$ , щоб запобігти необоротній тепловій денатурації білків. Необхідно забезпечити рівномірне розпилення продукту та однаковий дисперсний склад частинок, оскільки значні коливання розмірів частинок погіршують розчинність молока: більш дрібні частинки розчиняються швидше та частково осідають на більш великих, у результаті чого проникнення вологи всередину частинок ускладнюється. Установлено, що краще розчинення досягається за розмірів частинок сухого молока  $100...150\text{ мкм}$ . Сухе молоко форсункового розпилення розчиняється швидше, ніж дискового та відцентрового. Швидкість розчинення значною мірою залежить від пористості продукту та стану лактози. У сухому молоці лактоза знаходиться в аморфному стані, тому що під час розпилювального сушіння вона не встигає перейти в кристалічну форму.

Одним із способів одержання швидкорозчинного молока є *двостадійне сушіння*. Для одержання знежиреного молока високої та швидкої розчинності можна обробляти сухе молоко в камері агломерації, у якій порошок зволожують насиченою паром до вмісту вологи  $6,5...8,8\%$ , завдяки чому він набуває здатність до злипання в грудочки. У гранулах, що утворилися, між кристалами лактози залишаються численні пори. Утворення гранул і перехід лактози з аморфного стану в кристалічний відбувається в трисекційному інстантайзері. У першій секції вони агломеруються, у другій – підсушуються до залишкового вмісту вологи  $3...4\%$ , у третій – продукт охолоджується.

Таке двостадійне сушіння не економічне, тому що здійснюється за схемою сушіння – зволоження – сушіння. Тому доцільніше виробляти швидкорозчинне молоко *одностадійним сушінням*. У розпилювальній сушарці одержують сухий порошок із вологістю  $5...8\%$ . Звідси продукт надходить у інстантайзер. Остаточне сушіння відбувається в сушарці віброкиплячого, киплячого або фонтануючого шару. За такою схемою працюють розпилювальні сушарки «Ніро-Атомайзер».

Сухе молоко високої та швидкої розчинності можна виробляти також на прямооточній розпилювальній сушильній установці з дисковим розпиленням, (сушарки французької фірми «Cifal»). Молоко згущується у вакуум-випарних апаратах за глибокого вакууму та з низькою температурою кипіння. Розпилення

здійснюється двоступінчастим диском. На першу ступінь насосом подається згущене молоко, на другу – дрібні фракції сухого молока. У результаті утворюються агломерати великих частинок, а дрібні разом із повітрям, що відходить, відсмоктуються через патрубок у батарею циклонів і звідтіля вентилятором високого тиску подаються на другу ступінь розпилювального диска. За допомогою варіатора можна плавно змінювати швидкість обертання диска та регулювати розмір частинок молока.

Розчинність сухого молока підвищується також під час сушіння його в спіненому стані. Для цього молоко згущають у вакуум-випарній установці до 50...60% вмісту сухих речовин і гомогенізують. Для одержання стійкості піни в згущене молоко додають стабілізатори в кількості 0,1...4% маси продукту. Як стабілізатори піни використовують моногліцериди або суміш модифікованого соєвого білка з метилцелюлозою. У змішувальну товстостінну посудину подають стиснене повітря або інертний газ (азот, вуглекислий газ) під тиском 13...14 МПа і спінену масу направляють у розпилювальну сушильну установку. Отримане сухе молоко має вигляд великих пористих частинок, відрізняється швидкою розчинністю та малою насипною масою (300...350 кг/м<sup>3</sup>).

Спінене згущене молоко можна також сушити на стрічкових конвеєрних сушильних установках, кондуктивним методом або терморадіаційним із застосуванням інфрачервоних променів. У цьому разі молоко згущають спочатку у вакуум-апаратах звичайної конструкції до вмісту сухих речовин 48...54%, а потім у вакуум-апараті з мішалкою (концентраторі) до остаточного вмісту сухих речовин 78...80%. Після закінчення згущення в концентратор за атмосферного тиску й безперервної роботи мішалки вводять стабілізатори піни та стиснене повітря. Піну шаром 20...30 мм подають на стрічкову конвеєрну сушарку, де її пронизує нагріте повітря температурою 70...80° С. Тривалість сушіння становить 1..2 хв. Сухий продукт у вигляді пористої плити знімається зі стрічки ножами й дробиться.

Розглянуті методи одержання молока високої та швидкої розчинності застосовуються тільки для знежиреного молока. Це зумовлено тим, що в усіх випадках кристалізація лактози відбувається за великого механічного впливу на продукт, у результаті якого в суцільномолочних продуктах руйнується оболонкова речовина жирових кульок, відбувається витікання жиру, частинки стають гідрофобними. У результаті цього змочуваність і розчинність сухих жирних молочних продуктів зменшується. Крім того, сухий продукт із великою кількістю вільного жиру погано зберігається внаслідок його окиснювання та прогіркання.

Найбільш раціональний метод одержання швидкорозчинного сухого незбираного молока – гідрофілізація поверхні сухих частинок додаванням поверхнево-активних речовин (ПАР) у сполученні з агломерацією порошку. За розпилювального сушіння сухе незбиране молоко виходить за вологості 5...6% і середнього лінійного розміру частинок – 38...70 мкм. Далі воно надходить через агломераційну камеру в сушильно-охолоджувальну установку (інстантайзер). Щоб утворилися гранули сухого молока оптимальних розмірів (250...400 мкм), необхідно забезпечити вологість порошку 7,5...9%. Для цього

матеріал додатково змочують, а потім висушують за температури 50° С у псевдозрідженому стані, що забезпечує утворення гранул із середнім лінійним розміром 250...400 мкм. Сухе молоко, що повертається з циклонів, також надходить в агломераційну камеру, де піддається зволоженню й агломерації.

Як ПАР застосовують соєвий фосфатидний концентрат. Для кращого змішування з гранулами сухого молока ПАР попередньо розчиняють у молочному жирі до концентрації 60...63% та вносять у продукт через пневматичні форсунки за допомогою повітря, нагрітого до 120...140° С, у камеру, аналогічній за конструкцією камері агломерації.

Для запобігання руйнуванню гранул матеріал у лінії переміщується ківшовими та скребковими транспортерами. Готовий продукт розфасовується в герметичну тару.

Відносна швидкість розчинення сухого незбираного швидкорозчинного молока після шести місяців зберігання становить 70...75%, що в три-п'ять разів вище, ніж звичайного сухого незбираного молока.

До молочних продуктів швидкої розчинності належить сухе молоко типу «Смоленське», «Полтавське», «Гродненське». Воно являє собою сухий порошок, який у більшій частині складається з агломерованих частинок білого кольору з легким кремовим відтінком. Смак і запах продукту відповідають свіжому пастеризованому молоку, без сторонніх присмаку та запаху. Склад: води – не більше 4%, жиру – не менше 15%, СЗМЗ – не менше 81%. Розчинність становить не більше 0,2 мл сирого осаду, відносна швидкість розчинення – не менше 30%, кислотність відновленого молока за вмісту сухих речовин 12% – не більше 20° Т. Загальна кількість мікроорганізмів не більше 50000 у 1 г продукту, наявність патогенних мікроорганізмів і бактерій групи кишкової палички не допускається.

*Технологічний процес* складається з таких операцій: *приймання, охолодження та зберігання, очищення, стандартизація, пастеризація, згущення, гомогенізація, сушіння, охолодження, упакування та маркування.* Початкові операції виконуються так само, як під час вироблення всіх молочних консервів. Стандартизують молоко в потоці, виходячи з планового складу готового продукту: води – 2,5%, жиру – 15,8%, СЗМЗ – 81,7%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,193. Стандартизовану суміш пастеризують в автоматичному пароконтактному пастеризаторі за температури 100...115° С. Згущають суміш у п'ятикорпусній вакуум-випарній установці з падаючою плівкою безперервної дії. Згущення проводять до вмісту сухих речовин 45...50% за температури кипіння у першому корпусі 67...69° С, у другому – 61,5...65° С, у третьому – 49,5...54° С, четвертому та п'ятому – 42...43° С.

Далі згущену суміш гомогенізують у двоступінчастому гомогенізаторі за тиску 6...7 МПа в першій ступені і 20...21 МПа у другій або 10...15 МПа в першій і 2...5 МПа у другій. Стандартизована згущена суміш висушується в прямопотоковий розпилювальній сушарці до вмісту залишкової вологи 5...8%. Під час сушіння температура повітря, що входить у сушильну камеру, становить 145...175° С, що відходить, – 80 °С. Із сушильної камери порошок



подається в трисекційний інстантайзер, де агломерується та зневоднюється до залишкової вологості 2,5...4% і охолоджується до температури не вище 25° С. При цьому температура в секціях інстантайзера становить: у першій – 80° С, у другій – 100...110° С, у третій – 6...12° С. Дрібні неагломеровані частинки сухого молока повертаються в сушильну камеру. З інстантайзера сухе молоко надходить у бункер збереження, звідкіля системою пневматичних і стрічкових транспортерів через розподільник подається в приймальні бункери фасувальних автоматів.

Сухе молоко типу «Смоленське» упаковують у картонні коробки з внутрішнім герметичним пакетом з алюмінієвої фольги, покритим поліетиленом або іншим полімерним матеріалом, бляшані збірні банки, комбіновані бляшано-картонні банки зі знімною кришкою, чотири- та п'ятишарові паперові мішки з вкладишами з плівки з поліетилену із завареними швами. Зберігають продукт не більше восьми місяців за температури не вище 10° С та відносної вологості повітря не більше 75%.

### 7.5.2. Технологія сушених сумішей морозива

Сухі суміші для морозива використовують на підприємствах масового харчування, у цехах і на фабриках морозива, а також у домашніх умовах. Виробляють сухі суміші для різних видів морозива: пломбіру, вершкового та молочного різних найменувань. Усі вони повинні добре розчинятися в холодній воді, мати розчинність не більше 0,7 мл сирого осаду та кислотність відновлених сумішей не вище 24° Т. Загальна кількість мікроорганізмів не повинна перевищувати 50000 у 1 г продукту, наявність патогенних мікроорганізмів не допускається. Насипна маса становить 300...500 кг/м<sup>3</sup>. У готовому продукті вміст води повинен бути не більше 4%, сухих речовин молока залежно від виду морозива – 42...62,4%, у тому числі жиру – 11...41,7%, сахарози – 31,1...48,9%, крохмалю – 2...4,6%. Як смакові наповнювачі застосовують какао (для вершково-шоколадного морозива), додане в кількості не менше 5% загальної маси суміші (плановий вміст – 5,1%) і каву натуральну (для вершково-кавового), відповідно не менше 2,5% (плановий вміст – 2,6%).

*Технологічний процес* включає такі операції: *приймання молока, підігрівання, очищення, одержання вершків і знежиреного молока, стандартизація суміші, пастеризація, внесення водного розчину солей (динатрійфосфату або лимоннокислого натрію), згущення суміші з внесенням цукрового сиропу наприкінці процесу, готування та введення в згущену суміш стабілізаторів, гомогенізація, розпилювальне сушіння, охолодження й упакування.*

Сухі суміші для морозива завдяки додаванню фосфорно- або лимоннокислих солей натрію мають високу розчинність. Ці солі також зберігають молочний жир від підзбивання під час вироблення м'якого морозива. Вміст динатрійфосфату в сухій суміші повинен становити 0,4% загальної маси.

Згущають суміш у вакуум-випарній установці за температури кипіння не вище 60° С. Спочатку її згущають до вмісту сухих речовин 36...37%, потім вводять цукровий сироп і доводять згущення до 46...49% сухих речовин. Згущена суміш надходить у ванну-дозатор, куди додають стабілізатор-гелеутворювач – модифікований картопляний крохмаль (2,1...4,6% залежно від суміші, що виробляється), а також аскорбінову кислоту (0,1% маси жиру), що використовується як антиокиснювач і вводиться в суміш у вигляді водного розчину.

Для введення в суміш модифікованого крохмалю його заварюють у пастеризованому молоці за температури 85...95° С. Отриману суміш гомогенізують за тиску 6...7 МПа і подають на розпилювальне сушіння за температури повітря, що надходить, 145...155° С, у зоні розпилення – 60...65° С і на виході – 75° С.

Подальші операції аналогічні прийнятим під час вироблення сухого незбираного молока. Гарантійний термін зберігання сухих сумішей для морозива за температури 6...10° С до шести місяців.

### *7.5.3. Технологія сушених молочних продуктів дитячого та лікувального харчування*

*Молоко сухе для дітей грудного віку* застосовується під час штучного вигодовування дитини та як додаткове харчування. Готовий продукт являє собою дрібний сухий порошок білого кольору з легким кремовим відтінком, солодкуватого смаку та запаху, що властиві пастеризованому молоку, без сторонніх присмаку й запаху. *Склад сухого продукту*: води – не більше 3%, жиру – не менше 25%, СЗМЗ – не менше 72%, у тому числі лактози – не менше 51%. Кислотність відновленого молока за вмісту 12% сухих речовин становить не більше 19° Т, розчинність за температури 70° С – не більше 0,2 мл сирого осаду. Загальна кількість мікроорганізмів не більше 25000 у 1 г сухого молока, наявність патогенних мікроорганізмів і бактерій групи кишкової палички не допускається.

Цей продукт виробляється за технологією сухого незбираного молока, проте до якості сировини ставляться більш високі вимоги. Молоко та вершки повинні бути свіжими, якісними, кислотність молока не повинна перевищувати 19° Т, плазми вершків – 25° Т. Щоб наблизити склад продукту до материнського молока, у суміш додатково додають рафіновану лактозу. Плановий склад сухого продукту для складання суміші повинен бути такий: води – 2,5%, жиру – 25,5%, СЗМЗ – 72%, у тому числі лактози – 52%. Молоко стандартизують вершками до вмісту жиру 5,4%. Чисту рафіновану лактозу додають у вигляді розчину в гарячій (80...90° С) воді з розрахунку 6,5 кг сухої лактози на 100 кг молока.

Готовий продукт розфасовують у герметичну тару та зберігають у сухому прохолодному місці не більше восьми місяців.

*Молоко сухе напівжирне для дитячого харчування* має вигляд дрібного сухого порошку білого кольору з легким кремовим відтінком, смак й запах,

властиві пастеризованому молоку, без сторонніх присмаку й запаху. У готовому продукті повинно міститися води – не більше 3,5%, жиру – не менше 15%, СЗМЗ – не менше 80%. Розчинність у воді за температури 70° С становить не більше 0,2 мл сирого осаду, кислотність відновленого молока за вмісту сухих речовин 10,5% – не вище 19° Т. Загальна кількість мікроорганізмів не більше 30000 у 1 г сухого продукту, наявність патогенних мікроорганізмів і бактерій групи кишкової палички не допускається.

Технологія виготовлення цього продукту аналогічна технології сухого незбираного молока. Вимоги до вихідної сировини й умов зберігання готового продукту, такі самі, як для сухого молока для дітей грудного віку. Суміш стандартизують, виходячи з планового складу сухого продукту: води – 3%, жиру – 16,5%, СЗМЗ – 80,5%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,204.

*Молоко сухе напівжирне типу «Лактон»* виробляють у вигляді дрібного порошку світло-жовтого кольору з кремовим відтінком. Смак і запах продукту чисті, злегка кисломолочні, без сторонніх присмаку й запаху. Виготовляють його за технологією сухих кисломолочних продуктів із відповідними змінами. Стандартизують суміш, виходячи з планового складу готового продукту: води – 3%, жиру – 16,5%; білка – 28,5%, лактози – 42,5%, молочної кислоти – 2%, мінеральних речовин – 7,5%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,205.

Згущене молоко охолоджують до 35° С і подають у танк із мішалкою. Тут у нього додають 10% закваски (щодо маси згущеного молока), що складається із суміші мезофільних і термофільних стрептококів і ацидофільної палички, вимішують і витримують до підвищення кислотності рівної 90° Т. Подальші операції (гомогенізація, розпилювальне сушіння, охолодження, упакування та зберігання) аналогічні прийнятим для технології сухого незбираного молока.

*Сухий молочно-білковий препарат «Казоль»* є лікувальним продуктом і застосовується для харчування недоношених дітей. Він являє собою порошок білого кольору, повністю розчинний у воді, слабкосолонуватого смаку. Склад продукту: води – 5%, жиру – 1,5%, білка – 80%, лактози – 4,5%, мінеральних речовин – 9%.

«Казоль» виробляють зі свіжого кислотного знежиреного сиру або з харчового молочнокислого казеїну, до яких додають розчини динатрійфосфату  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  та питної соди  $\text{NaHCO}_3$ . Під час перемішування масу підігрівають до 65...70° С протягом 10...15 хв. Отриманий продукт із вмістом сухих речовин 20% подають на розпилювальне сушіння. Усі подальші операції здійснюють відповідно до технологічної схеми виробництва сухого незбираного молока.

*Сухе іонітне молоко.* Технологічний процес виробництва цього продукту включає: очищення, охолодження до 8...10° С, підкислення, іонообмін у катіонітному стовпчику до 21° Т, пастеризацію, згущення, гомогенізацію, розпилювальне сушіння, просівання на віброситі, розфасування в герметичну тару.

Подальші технологічні операції аналогічні прийнятими під час виготовлення сухого незбираного молока.

Сухе іонітне молоко має вигляд порошку білого кольору з легким кремовим відтінком, чисті смак і запах, властиві пастеризованому молоку. У готовому продукті повинно міститися води – не більше 4%, жиру – 26...27%, сухих знежирених речовин – 69...70%. Сухе іонітне молоко має високу розчинність: після річного збереження в герметичній тарі розчинність його становить 0,1...0,11 мл сирого осаду. Кислотність відновленого молока, що містить 12% сухих речовин, не повинна перевищувати 18° Т.

*Сухі молочні суміші для дітей раннього віку* типу «Маля» та «Малятко», «Віталакт» – це біологічно повноцінні суміші, які призначені для штучного вигодовування та догодовування дітей грудного віку.

*Суха молочна суміш «Маля»* застосовується для штучного та змішаного вигодовування дітей з перших днів життя до одно- і двомісячного віку. Молоко, призначене для виробництва сухої молочної суміші «Маля», повинно бути свіжим, із чистими смаком і запахом, кислотністю не вище 19° Т. Вершки, отримані під час сепарування свіжого незбираного молока, повинні мати кислотність плазми не більше 25° Т. Суха молочна суміш «Маля» складається з 77% сухої молочної основи і 23% рафінованого цукрового піску, збагаченого водорозчинними вітамінами та гліцерофосфатом заліза. Вона має вигляд дрібного сухого порошку з крупинками цукру, білого кольору із трішки кремовим відтінком, солодкий молочний смак і запах із легким присмаком солоду. У готовому продукті повинно міститися: води – не більше 4%, жиру – не менше 25%, білка – не менше 15%, вуглеводів – не менше 52%, у тому числі цукрів – 23%, лактози – 17% і декстрину-мальтози – 12%, мінеральних речовин – не менше 4%. Вміст вітамінів, мг на 100 г: А – 0,1; D – 0,016; E – 4,4; C – 45; PP – 1,9; B<sub>0</sub> – 0,058, У<sub>1</sub> – 0,2; B<sub>2</sub> – 0,54. Кислотність відновленої сухої молочної суміші не повинна перевищувати 15° Т, розчинність не більше 2 мл сирого осаду. Загальна кількість мікроорганізмів не більше 25000 у 1 г суміші, наявність патогенних мікроорганізмів і бактерій групи кишкової палички не допускається.

*Технологічний процес* виготовлення сухої молочної основи включає такі операції: *приймання, охолодження та зберігання молока, підігрівання, очищення, стандартизацію, унесення лимоннокислих солей натрію і калію, пастеризацію та згущення, унесення рослинної олії з жиророзчинними вітамінами й декстрину-мальтози, гомогенізацію, сушіння й охолодження, упакування.*

Нормалізують молоко в потоці з використанням сепаратора-вершковідділювача. Плановий склад сухої молочної основи таким: жиру – 34% (у тому числі рослинного – 8,4% і молочного – 25,6%), СЗМЗ – 47,8%, сухих речовин декстрину-мальтози – 15,7%, води – 2,5%. Співвідношення жир/СЗМЗ повинно становити 0,5331. Солі натрію та калію (із розрахунку 0,7 кг лимоннокислого натрію і 1,5 кг лимоннокислого калію на 1 т молока) додають у резервуар збереження молока або в проміжний бак після стандартизації. Знежирене молоко пастеризують у пароконтактному пастеризаторі за температури 102...105° С. Вершки пастеризують за 85° С у пластинчастому або трубчастому пастеризаторі. Пастеризоване знежирене молоко за один прохід

подається послідовно в перший, другий і третій корпуси вакуум-випарної установки з падаючою плівкою. У четвертому корпусі знежирене молоко змішується з пастеризованими вершками. Відтіля суміш подається спочатку в підігрівник п'ятого корпусу, а потім остаточно згущається до вмісту сухих речовин 40...43% і подається в баки-змішувачі. Процес згущення відбувається безупинно за температури кипіння в першому корпусі 67...69° С, у другому – 61,5...65° С, третьому – 49,6...54° С, четвертому та п'ятому – 42...43° С.

Рослинні олії є головним джерелом поліненасичених жирних кислот. У підігріту до 60° С рослинну олію додають жиророзчинні вітаміни А, D<sub>2</sub> і Е. На 1000 кг згущеної молочної суміші додають 45,8 кг рослинної олії і 700 мг вітаміну А, 110 мг кристалічного або 22 мл масляного розчину вітаміну D<sub>2</sub>, 30,1 г вітаміни Е (у перерахуванні на 100%).

Біфідофлора, що створює кисле середовище, придушує патогенні та гнильні мікроорганізми, захищає організм дитини від інфекції. Як такі речовини використовують декстрин-мальтозу та лакто-лактозу. Для готування «Маля» застосовують 55...56%-ий розчин лакто-лактози, що містить до 50% лактози та лактулози.

Гомогенізують суміш за температури 50..60° С і тиску в першій ступіні 20...21 МПа, у другій – 6...7 МПа. Сушіння проводять за температури повітря на вході в сушильну камеру 165...180° С, а на виході – 70...75° С, у першій і другій секціях інстантайзера – 20...40° С, у третій – 10...12° С. Охолоджена молочна суміш системою пневмотранспорту подається в бункер добового або проміжного збереження, де зберігається до з'єднання з іншими компонентами.

Перед дозуванням і змішуванням суху молочну суміш і цукор просівають і пропускають через магнітні огорожі. Перед змішуванням із водорозчинними вітамінами рафінований цукор обробляють ультрафіолетовими променями для знищення мікроорганізмів, подають у бункер, а відтіля через шлюзовий затвор у дробарку. Цукрова пудра із середнім розміром частинок не більше 0,1 мм після короткочасного зберігання в бункері надходить в автоматичний дозатор, а потім у змішувач – металевий конусоподібний бункер із пропелерною мішалкою. Спочатку в змішувач подають суху молочну основу, потім цукрову пудру й останніми водорозчинні вітаміни (С, РР, В, гліцерофосфат заліза) відповідно до рецептури.

У змішувачі компоненти протягом 5 хв перемішуються, після чого пневмотранспортом суха молочна суміш подається в бункер проміжного зберігання. Розфасовують готовий продукт на автоматі «Хессер» у картонні коробки ємністю 0,5 кг із внутрішнім пакетом з алюмінієвої фольги, покритої полімерним матеріалом. Після заповнення коробки проходять контрольне зважування та надходять у камеру, у якій відбуваються вакуумування, азотування та герметичне упакування. Далі коробки передаються в автомат для укладання в коробки з гофрованого картону. Зберігають продукт за температури 10° С і відносної вологості повітря не більше 75%. Термін його зберігання на заводі не більше місяця, до вживання – не більше десяти місяців.

*Суша молочна суміш «Малютко»* використовується для штучного та змішаного вигодовування дітей у віці від двох-трьох місяців до року. До її складу входять суша молочна основа (65%), борошно для дитячого або дієтичного харчування – рисове, гречане, вівсяне або толокно (12%) і рафінована сахароза з водорозчинними вітамінами С, РР, У<sub>6</sub> і гліцерофосфатом заліза (23%).

Готовий продукт має вигляд дрібного сухого порошку білого кольору з кремовим відтінком, що включає темні частинки гречаного борошна. Смак і запах чисті, властиві свіжій молочній суміші, із легким присмаком рисового, гречаного або вівсяного борошна. Вміст води – не більше 4%, жиру – не менше 25%, білка – не менше 15% з рисовим і не менше 16% із гречаним і вівсяним борошном, вуглеводів – не менше 51% із гречаним і вівсяним борошном і не менше 52% із рисовим, мінеральних речовин – не менше 4%; кількість вітамінів А, D<sub>2</sub>, С, Е, РР, В<sub>6</sub> і гліцерофосфату заліза відповідає зазначеному для сухої молочної суміші «Маля», вітамінів В<sub>1</sub> і В<sub>2</sub> становить, мг/100 г: із рисовим борошном – 0,2 і 0,5, із гречаним – 0,26 і 0,69, із вівсяним і толокном – 0,2 і 0,56. Кислотність відновленої молочної суміші «Малютко» не повинна перевищувати 14° Т, загальна кількість мікроорганізмів не більше 25000 у 1 г, наявність патогенних мікроорганізмів і бактерій групи кишкової палички не допускається.

Вимоги до вихідної сировини під час вироблення сухої молочної суміші «Малютко» такі самі, як для суміші «Маля». *Технологічний процес* виробництва включає такі операції: *виробництво сухої молочної основи, приймання молока, охолодження, зберігання, підігрівання, очищення, стандартизація, пастеризація, згущення, внесення рослинної олії та жиророзчинних вітамінів, гомогенізація, сушіння й охолодження; підготовка борошна для дитячого харчування; дозування та змішування компонентів; азотування, упакування.*

*Сушу молочну основу* виготовляють на устаткуванні та за режимами, прийнятими в технології виробництва сухої молочної суміші «Маля». Молоко стандартизують, виходячи з планового складу сухої молочної основи: води – 2,5%, жиру – 40,2%, у тому числі рослинного – 9,9%, молочного – 30,3%, СЗМЗ – 57,3%, співвідношення жир/СЗМЗ – 0,5288.

*Борошно* для дитячого харчування виготовляють із рисової, гречаної та вівсяної круп на підприємствах борошномельної та харчоконцентратної промисловості. *Толокно* одержують розмелом ядра вівса, що пройшов спеціальну обробку. Для цього очищені та відсортовані зерна вівса витримують 2 год у воді за температури 35° С, потім подають у варильний апарат і 1,5 год варять під тиском 0,15...0,2 МПа, у результаті чого крохмаль вівса гідролізується та переходить у легкозасвоювані декстрини. У стрічковій конвеєрній сушильній установці зерна висушують до вологості 5...6%, охолоджують, піддають лущенню, подрібнюють на вальцьових верстатах, просівають, пропускають через магнітний уловлювач і упаковують. У гречаному, рисовому, вівсяному борошні й толокні міститься: води – 9%, білка (відповідно за видами) – 13,6; 7,4; 13; 12,2%; жиру – 1,2; 0,6; 6,8; 5,8%; сума

вуглеводів – 73,7; 82; 67,6; 68,3%; мінеральних речовин – 1,5; 0,5; 1,8 і 1,8%.

Із бункерів зберігання борошно пневмотранспортом передають у бункери добового зберігання, звідкіля воно надходить в апарат для знищення комірних шкідників. Потім, після зважування, його змішують із водою температурою 35...45° С у співвідношенні 1:1,5 і подають на вальцьову сушильну установку з тиском пари у вальцях 0,3...0,6 МПа, де висушують до залишкової вологості 5%. Суха плівка борошна надходить у дробарку та розмелюється до розміру частинок 0,1...0,2 мкм. У результаті такої обробки виходить швидкорозчинне борошно. Його просівають і пневмотранспортом подають у бункер.

Підготовка рафінованого цукру, змішування з водорозчинними вітамінами та гліцерофосфатом заліза виконуються так само, як під час вироблення сухої молочної суміші «Маля».

*Сухі молочні суміші «Енніти»* застосовуються для харчування хворих. Вони існують у чотирьох модифікаціях: *білкова, знежирена, жирова та протианемічна*.

#### 7.5.4. Технологія сушених продуктів сублімаційного сушіння

Сублімаційне сушіння максимально зберігає первісні властивості матеріалів, їх біологічні та поживні властивості, але цей метод значно дорожчий за інші, тому недоцільно застосовувати сублімацію для консервування всіх молочних продуктів. Невиправдано, зокрема, використовувати його для сушіння молока та молочних продуктів, що в процесі підготовки до зневоднювання піддавалися високотемпературній обробці – пастеризації, згущенню.

Методом сублімаційного сушіння виробляють сухі сир (жирний, напівжирний, знежирений), закваски та молочнокислі продукти: йогурт (жирний, жирний солодкий, жирний плодово-ягідний), ацидофільну пасту підвищеної жирності.

Для виробництва *сиру сублімаційного сушіння* використовують сир жирний, напівжирний та знежирений вищого сорту, вироблений зі свіжого коров'ячого пастеризованого молока.

*Основні технологічні параметри* сублімаційного сушіння сиру такі: заморожування в субліматорі до температури -8...-12° С; залишковий тиск у субліматорі – 13,3...133 Па; температура конденсації – -25...-30° С; температура продукту наприкінці сушіння – 40...45° С для жирного, 55...60° С для знежиреного сиру; товщина шару продукту – 10...12 мм; питома навантаження – 7 кг/м<sup>2</sup>; тривалість сушіння під час двостороннього обігрівання інфрачервоними променями – 4...5 год.

*Сухий сир сублімаційного сушіння* має вигляд гранул різної форми білого кольору з кремовим або жовтуватим відтінком, смак і запах, властиві сирові, без сторонніх присмаку й запаху. Для відновлення сухий сир заливають теплою водою температурою 30...40° С у співвідношенні 1:2 і залишають для набрякання до повної готовності (не більше 15 хв). Залишкова вологість не

більше 4%. Вміст жиру в перерахуванні на абсолютно суху масу для жирного сиру становить 49%, напівжирного – 32%; кислотність після відновлення: жирного – 200° Т, напівжирного – 210° Т, знежиреного – 220° Т; насипна маса жирного сиру – 200...270 кг/м<sup>3</sup>, знежиреного – 210...310 кг/м<sup>3</sup>.

Сухий жирний сир можна брикетувати за тиску 3 МПа, знежирений – за 4 МПа. Готовий продукт розсипом або в брикетах розфасовують у середовищі азоту з попереднім вакуумуванням у герметичну тару – бляшані банки або пакети з алюмінієвої фольги, комбінованої з поліетиленом. Термін зберігання за температури не вище 20° С та відносної вологості повітря не більше 75% становить 12–15 місяців.

*Кисломолочні сухі продукти сублімаційного сушіння* після змішування з водою та двадцятихвилинного набрякання використовуються для безпосереднього вживання в їжу. *Технологічний процес* їх виробництва включає такі операції: *приймання та зберігання сировини, заморожування, сублімаційне сушіння, розфасування, упакування.*

Для вироблення кисломолочних продуктів сублімаційного сушіння застосовують свіжі кисломолочні продукти: ацидофільну пасту 8 і 4% жирності, йогурт, кисляк 6% жирності, що зберігалися в холодильній камері за температури не вище +8° С не більше 12 год.

Для заморожування перед сушінням кисломолочні продукти розміщують у лотки (листи) шаром завтовшки 5...6 мм. Заморожування до температури -20...-25° С здійснюється в швидкоморозильних апаратах. Допускається самозаморожування в субліматорі за остаточного тиску 13,3...133 Па і температури охолоджувальної поверхні субліматора -30...-35° С. У процесі сушіння за одnobічного контактного підведення теплоти температура поверхні плит, що гріють, підтримується на рівні 50...70° С, у кінці його в період постійної швидкості сушіння вона знижується до 40...45° С. Сушіння закінчується через годину після вирівнювання температур матеріалу та плит, що гріють.

Кисломолочні продукти сублімаційного сушіння складаються з частинок різної форми та розмірів, що легко розсипаються під час механічного впливу, білого кольору з кремовим відтінком (плодово-ягідний йогурт має колір відповідного наповнювача), смак і запах залежать від виду продукту: ацидофільна паста – чистий, кисломолочний, солодкий; жирний йогурт – чистий, кисломолочний; солодкий йогурт – солодкий, кисломолочний; плодово-ягідний йогурт – солодкий із присмаком відповідного наповнювача. Вміст води в усіх продуктах не перевищує 4%, тривалість відновлення не більше 20 хв. Наявність патогенних мікроорганізмів не допускається. Розфасування, упакування та зберігання здійснюються так само, як під час виробництва сиру сублімаційного сушіння.



## 7.6. Структура та властивості сухих молочних продуктів

### 7.6.1. Загальні відомості про якісний склад сухих молочних продуктів

Хімічний склад сухих молочних продуктів залежить головним чином від первісного складу молочної суміші, із якої виготовляють продукт.

Склад, харчова цінність і властивості сухих молочних продуктів визначаються їх основними компонентами: білком, жиром, вуглеводами, вітамінами, мінеральними речовинами.

Сухе молоко та сухі молочні продукти інших видів мають високу харчову цінність. Харчова цінність відновленого сухого молока, виробленого методом розпилювального сушіння, практично не відрізняється від пастеризованого молока. За цим показником воно перевершує такі продукти, як згущене молоко з цукром, згущене стерилізоване молоко. Сухе незбиране молоко за засвоюваністю білків і жирів незначно поступається свіжому натуральному молоку (білків на 0,43%, жиру на 0,03% менше). Засвоюваність вуглеводів однакова.

Властивості сухих молочних продуктів значною мірою визначаються станом їх білкової фази. *Вміст білків* у сухих молочних продуктах досить високий від 10 до 37% у сухих вершках. На всіх етапах технологічного процесу частинки білка зберігають форму, близьку до сферичної. У процесі сушіння відбувається частковий перерозподіл фракцій казеїну.

Колоїдний стан *молочного жиру* в частинках сухого молока залежить від режимів обробки молока перед сушінням, способу сушіння та його параметрів. У сухому молоці розпилювального сушіння жир знаходиться головним чином у вигляді включень, близьких до кулястої форми. У сухому продукті, отриманому з негомogenізованого молока, розмір внутрішніх включень жиру становить 0,1...4 мкм, а в сухому продукті з гомogenізованого молока, як правило, не перевищує 1 мкм.

Частина молочного жиру, що може екстрагуватися з молочного порошку жиром розчинником, називається *вільним жиром*. Вміст вільного жиру в сухих молочних продуктах залежить від способу виробництва сухого молока. У сухому молоці контактного та сублимаційного сушіння завжди міститься значна кількість вільного жиру.

На вміст вільного жиру в сухому молоці вирішальний вплив чинить гомogenізація згущеного молока незалежно від методу його одержання. За підвищення тиску на форсунки від 5 до 20 МПа вміст вільного жиру знижується від 3,65 до 2,1%. Використання форсунок із великим перетином вихідного отвору дозволяє одержати сухе молоко з відносно низьким вмістом вільного жиру. Вміст вільного жиру в сухому молоці збільшується також у разі підвищення частоти обертання розпилювального диска.

Вміст вільного жиру в сухому молоці слабо залежить від температурного режиму розпилювального сушіння. Під час підвищення

температури повітря з 160 до 190° С вмісту вільного жиру підвищується на 2...3%.

Швидке та своєчасне видалення сухого молока із сушильної камери, а також заходи, що запобігають осіданню молочного порошку на нагрітих внутрішніх поверхнях сушильної установки, приводять до зниження вмісту вільного жиру.

У процесі зберігання найбільш істотно впливають на якість сушеної продукції підвищений вміст вологи в молочному порошку, а також температура зберігання сухого продукту. За підвищених (більше 30° С) і знижених (менше 5° С) температур зберігання вміст вільного жиру збільшується.

Хоча високий вміст вільного жиру і чинить часто несприятливий вплив на якість сухого молока, на сьогодні не можливо достатньо точно установити й обґрунтувати роль вільного жиру у формуванні властивостей сухого молока.

*Молочний цукор (лактоза).* У сухих молочних продуктах лактоза наявна у вигляді  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми. Обидві форми можуть знаходитися як у кристалічному, так і в аморфному станах, які за певних умов переходять одна в одну.

Лактоза в аморфному стані надзвичайно гігроскопічна. Це збільшує вологопоглинаючу здатність сухих молочних продуктів. У сухому молоці перехід лактози з аморфного в кристалічний стан викликає розвиток мережі капілярів і тріщин. У результаті цього частинки сухого молока стають проникними для рідин і газів.

У процесі зберігання сухого молока співвідношення між  $\alpha$ - і  $\beta$ -формами лактози залишається стабільним за умови дотримання невисоких температур і низької відносної вологості.

*Вітаміни.* Сушіння молока призводить до зміни вітамінного складу сухого молока. Більшою мірою це відбуваються під час контактного сушіння, меншою – під час розпилювального.

Жиророзчинні вітаміни А і D у процесі сушіння практично не змінюються в кількісному відношенні, вміст вітаміну С знижується приблизно на 20%, вітамінів В<sub>1</sub> і В<sub>2</sub> – приблизно на 10...30%

Під час вальцьового сушіння втрати вітамінів трохи вищі: вітаміну С – близько 30%, вітаміну В<sub>1</sub> – до 20...30%.

*Мінеральні речовини.* У сухих молочних продуктах містяться різні мікроелементи, вміст яких залежить від низки чинників. На вмісті мікроелементів значно позначається їх первісна кількість у вихідному молоці, що може змінюватися залежно від різних географічних зон, умов його транспортування та перероблення. У стандартах, що регламентують склад і властивості сухих молочних продуктів, обговорені допустимі межі вмісту в них солей окремих металів. Так, допустимий вміст солей міді (у перерахуванні на мідь) не повинен перевищувати 8 мг на 1 кг продукту. Вміст солей свинцю взагалі не допускається.

*Вода.* Сухі молочні продукти містять мінімальну кількість вологи (не більше 7%), що дозволяє зберегти їх якість протягом тривалого часу. Підвищений вміст вологи в сухому молоці призводить до дестабілізації жирової фази сухого молока та кристалізації лактози, що сприяє появі різних дефектів і

погіршує його якість. Проте надмірно низький вміст вологи (менше 2,4%) спричиняє виникнення лойового присмаку в сухому молоці в процесі зберігання.

*Мікрофлора сухих молочних продуктів.* Стандартами на сухі молочні продукти установлені визначені вимоги до вмісту в них мікроорганізмів. Так, для сухого незбираного молока вищого сорту, сухого знежиреного молока, призначеного для безпосереднього вживання, і сухих вершків вищого сорту загальна кількість мікроорганізмів у 1 г продукту не повинна перевищувати 50000. У 1 г сухого незбираного молока I сорту загальна кількість мікробів установлена в межах до 70000. У 1 г сухого знежиреного молока промислового перероблення допускається вміст до 100000 бактерій. Така ж кількість бактерій допустима в сухих вершках I сорту.

У всіх сухих молочних продуктах недопустимий вміст патогенних мікробів, а в сухому незбираному молоці вищої категорії якості, у сухих вершках вищого та I сортів також і вміст бактерій групи кишкової палички.

Найбільш імовірними джерелами бактеріального обсіменіння молока, що надходить на сушіння, є залишки продукту або промивних вод у місткостях для згущеного молока, розташованих між вакуумним апаратом і сушильною установкою, а також скрубери.

Найменшу бактеріальну засіяність мають сухі молочні продукти, отримані методом контактного сушіння в результаті високої температури. Кількість мікроорганізмів у сухих молочних продуктах розпилювального сушіння залежить від його режимів. За температур сушіння нижче 155° С здатність мікроорганізмів до виживання збільшується.

### 7.6.2. Структурні характеристики сухих молочних продуктів

Структура сухих молочних продуктів так само, як і їх склад, визначає їх властивості, від яких залежать якість продукту, його стійкість під час зберігання та здатність до відновлення.

У сухому молоці, отриманому на розпилювальних сушарках, значна частка частинок знаходиться у вільному, не зв'язаному між собою стані, а невелика частина об'єднана між собою. Серед них зустрічаються частинки, що щільно контактують одна з одною, і частинки, що контактують лише незначною частиною поверхні. Внутрішня структура частинок сухого молока розпилювального сушіння характеризується наявністю вакуолей (включень) повітря та пари. Під час мікроскопічного спостереження під невеликим збільшенням зовнішня поверхня частинок сухого молока здається глясуватою і трохи оплавленою.

Сухе молоко, одержане в результаті контактного сушіння, складається з частинок неправильної форми з гострими краями. Розмір їх становить 250...470 мкм. Таку структуру частинки набувають під час розмелювання півки сухого продукту, що утворюється на вальцях.

Одним із головних чинників, що визначають структуру й значною мірою властивості сухих молочних продуктів, є їх *гранулометричний склад*. Сухе

молоко являє собою полідисперсну систему частинок, яку можна характеризувати кривими розподілу, величиною середнього діаметра, питомою поверхнею частинок та іншими показниками.

Розмір частинок сухого молока залежить від низки чинників. Зі збільшенням ступеня попереднього згущення молока перед сушінням зростає відсотковий вміст частинок більш великих розмірів класів. На розмір частинок найбільше впливають режими розпилення й тип розпилювача. Під час розпилення згущеного молока відцентровим диском зі збільшенням частоти його обертання знижується середній лінійний діаметр частинок і зменшується частка великих. Під час розпилення механічними форсунками в міру зниження тиску насоса та збільшення розмірів вихідного отвору форсунки розмір частинок збільшується.

На гранулометричний склад сухого молока впливають також температурні режими сушіння, причому ці зміни більш значні за високих температур. У разі зміни температури повітря, що направляється на сушіння, з  $160^{\circ}\text{C}$  до  $195^{\circ}\text{C}$  середній лінійний діаметр частинок змінюється в межах 51,3...64 мкм

*Пориста структура сухих* молочних продуктів характеризується загальною пористістю, розмірами пор, інтегральною та диференціальною кривими розподілу об'єму пор за радіусом, питомою поверхнею.

Середній радіус пор сухого знежиреного молока знаходиться в межах 25...116  $\text{Å}$ , а агломерованого – 52...138  $\text{Å}$ . При цьому максимум кривих диференціального розподілу об'єму та поверхні пор припадає на пори діаметром 34  $\text{Å}$  у сухому знежиреному молоці та 62  $\text{Å}$  в агломерованому. Під час агломерації продукту зростає частка великих пор і зменшується питома поверхня продукту. Це призводить до того, що після агломерації продукт стає менш гігроскопічним, а його здатність до швидкого відновлення поліпшується.

Пористість частинок сухого молока залежить головним чином від температурних режимів сушіння, а також від режимів гомогенізації згущеного молока. Гомогенізація згущеного молока дозволяє значно знизити пористість частинок сухого молока від 9 до 2%. Дрібні частинки сухого молока, наприклад циклонні фракції, мають значно більший коефіцієнт пористості, ніж більш великі частинки, наприклад, порошок, відібраний із сушильної камери.

У результаті поглинання пари води структура частинок сухого молока істотно змінюється. Поглинання вологи білком викликає його набрякання, у результаті чого частина пор, капілярів і тріщин частково закривається. Кристалізація лактози викликає появу нової додаткової мережі пор, капілярів і тріщин. Цей процес є переважним, унаслідок чого пористість частинок сухого молока в результаті їх зволоження істотно підвищується.

Частинки сухого молока нерідко мають одну або кілька вакуолей, заповнених повітрям. Зі збільшенням термічного впливу на частинки в процесі сушіння загальний вміст повітря в сухому молоці зростає, у разі підвищення температури повітря, яке подається на сушіння, з  $160$  до  $200^{\circ}\text{C}$  вміст повітря в частинках сухого молока збільшується з 7 до 11%.

*Порозність.* Частинки сухих молочних продуктів у силу своєї форми утворюють порошкоподібну систему, у якій між частинками міститься повітря. Простір між частинками, тобто порожнечі, характеризуються порозністю:

$$\varepsilon=1-(V_1/V_2)=1-(\rho/M_{0,y}), \quad (7.25)$$

де  $V_1, V_2$  – відповідно об'єм, що займають частинки продукту й шар продукту,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – густина сухого продукту,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$M_{0,y}$  – об'ємна маса сухого продукту з ущільненням до постійного об'єму,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Порозність системи, що складається з твердих кулястих частинок однакового розміру, залежить не від їх діаметра, а від виду укладання. Теоретично порозність може змінюватися в межах від 0,476 (кубічне укладання частинок) до 0,259 (гексагональне укладання частинок). Аналітичним шляхом встановлено, що порозність звичайного сухого незбираного молока становить 0,537, агломерованого – 0,653. Структура сухих молочних продуктів найбільш близька до модельної системи з кубічним укладанням частинок. Таким чином, можна прийняти:

$$r_k=0,57r_{\text{ч}},$$

де  $r_k, r_{\text{ч}}$  – відповідно середні радіуси порового каналу й частинки в шарі продукту.

В агломерованих сухих молочних продуктах порових каналів значно більше, ніж капілярних.

### 7.6.3. Фізичні властивості сухих молочних продуктів

*Об'ємна маса* показує, яка маса одиниці об'єму сухого продукту. Цей показник має велике практичне значення, тому що від нього залежать розмір місткості для зберігання, обсяг складських приміщень, витрати на пакувальну тару й транспортування. Об'ємна маса залежить від густини частинок сухого молока, а також виду їх укладання в певному об'ємі, тобто від його фактичного заповнення.

Іншою об'ємною характеристикою сухого продукту є об'ємна маса його з ущільненням до постійного об'єму, тобто до припинення видимої усадки порошку в мірці. Продукт у мірці зазвичай ущільнюють легким постукуванням об тверду поверхню або шляхом створення вібраційного впливу на продукт.

Об'ємна маса сухого молочного продукту з ущільненням зазвичай на 15...40% більше об'ємної маси вільного засипання.

Для оцінювання властивостей продукту велике значення мають такі особливості гранулометричного складу продукту, як співвідношення частинок різних розмірних класів, компактність і форма частинок. При цьому на об'ємну масу істотно впливає наявність у сухому продукті дрібних, так званих циклонних фракцій, які збільшують об'ємну масу. Об'ємна маса

швидкорозчинного молока під впливом механічних навантажень може збільшуватися більше ніж у два рази. Агломерати руйнуються, особливо під час зберігання в бункерах або мішках, складених у штабелях, що призводить до підвищення об'ємної маси продукту. Під час зберігання та транспортування сухі молочні продукти, у тому числі й швидкорозчинні, самоущільнюються, що призводить не лише до підвищення їх об'ємної маси, але й до злежування. Особливо часто це спостерігається в продуктах із високим вмістом жиру.

*Густина частинок* сухих молочних продуктів залежить від їх складу, а також від параметрів технологічного процесу одержання. Цей показник можна розрахувати теоретично на підставі складу продукту. Проте фактична густина частинок трохи нижче теоретичної через наявність у них порожнин, тріщин і капілярів. Для визначення фактичної густини застосовують рідинні та повітряні пікнометри. За збільшення ступеня згущення молока з 30 до 50% густина сухого молока збільшується з 900 до 1200 кг/м<sup>3</sup>. На густину частинок сухого молока впливає температура сушильного агента (табл. 7.3).

*Сипкість, плинність, кут природного укусу.* Сухі молочні продукти можна віднести до сипких матеріалів, рух яких визначається тертям і зчепленням між частинками. Серед сухих молочних продуктів високу рухливість частинок має, наприклад, знежирене сухе молоко. Під час його руху в співвідношенні сил тертя та зчеплення переважає тертя. Сухі вершки, особливо високожирні, мають погану сипкість.

Здатність сухих молочних продуктів висипатися з отворів дуже важлива з практичних позицій, особливо під час конструювання бункерів, механізмів, що транспортують, і фасувальних автоматів. *Плинність* сухих продуктів залежить від значного числа чинників, із яких основними є тертя та зчеплення частинок між собою. Плинність поліпшується за збільшення розмірів частинок і зменшення вмісту на їх поверхні жиру. Позитивно впливає на плинність агломерація частинок продукту. Значне зниження плинності спостерігається за вмісту вологи в сухому продукті понад 5...6%.

Плинність прийнято виражати кількістю продукту, що впливає за одиницю часу з отвору визначеного діаметра. Для її визначення застосовують конусні лійки (кут конуса 60°) із каліброваними отворами. Цю властивість можна характеризувати коефіцієнтом текучості:

$$K_T = \tau \cdot R^n / m, \quad (7.26)$$

де  $\tau$  – тривалість витікання навішення порошку, с;

$R$  – радіус вихідного отвору лійки, мм;

$n$  – коефіцієнт,  $n=2,58$ ;

$m$  – маса навішення порошку, кг.

Із підвищенням  $K_T$  текучість порошку погіршується. Кут, утворений лінією природного укусу молочного порошку з горизонтальною площиною (*кут природного укусу*)  $\alpha$ , визначається силами тертя та зчеплення між частинками сухого молока. Він залежить також від жорсткості горизонтальної

поверхні. Зниження жорсткості поверхні призводить до зменшення кута  $\alpha$ . Тому під час конструювання бункерів та іншого устаткування, призначеного для переміщення сухих молочних продуктів, варто підвищувати чистоту обробки їх внутрішніх поверхонь.

*Питома поверхня* частинок сухих молочних продуктів залежить від їх форми та розміру. Під питомою поверхнею розуміють сумарну поверхню всіх частинок в одиниці об'єму або маси. Зі зменшенням розміру частинок і збільшенням ступеня розвиненості їх поверхні питома поверхня зростає. Питому поверхню порошків визначають в основному адсорбційними методами або вимірюванням газопроникненості. Питома поверхня частинок молочного порошку всіх видів досить велика та становить приблизно 100...640 м<sup>2</sup>/кг.

Частинки сухих молочних продуктів мають визначену міцність зв'язку з твердим тілом, для позначення якої застосовують термін «адгезія». Адгезійна взаємодія частинок сухого молочного продукту з твердими поверхнями зумовлена низкою сил, різних за природою, але діючих одночасно. Серед них основними є молекулярні, капілярні й електричні (кулонівські).

Молекулярні сили (Ван-дер-Ваальсові) залежать від розміру частинок, жорсткості поверхні, а також площі контакту частинки з поверхнею сушильної камери. Капілярні сили адгезії викликані поверхневим натягом у місці контакту частинок зволоженого сухого молочного продукту з твердою поверхнею. Під час тертя одна об одну або об внутрішні поверхні устаткування частинки продукту здобувають електричні заряди, що зумовлює появу електричних сил адгезії. Електричні сили адгезії залежать від складу частинок сухого продукту та матеріалу поверхні, із яким він контактує. Чим менший розмір частинок, тим більший заряд має сухе молоко.

Частинки сухих молочних продуктів мають виражену здатність налипати на внутрішні поверхні сушильних камер. У процесі сушіння налиплий молочний порошок під впливом температури перетерплює небажані зміни, що призводить до зниження його розчинності, підвищення ступеня окиснення молочного жиру, збільшення кількості пригорілих частинок, а в окремих випадках до самозаймання сухого продукту. У вертикальних прямооточійних сушильних установках найбільші відкладення спостерігаються зазвичай у верхній частині сушильної камери, а також на конічному днищі. У горизонтальних прямооточійних форсункових установках відкладення зазвичай утворюються на конічному днищі й незначною мірою на стельовій частині сушильної камери. Кількість відкладень зменшується тоді, коли в сушильній камері відсутні різні виступи й інші елементи, що створюють загальну картину аеродинаміки.

*Адгезійні характеристики сухих продуктів* залежно від виду матеріалу стінок визначаються по-різному. Так, частинки сухого незбираного молока погано прилипають до стінок камери з пластмаси (із фторопласта) і відносно добре – до металевих.

На інтенсивність відкладень впливає забруднення внутрішньої поверхні сушильної камери залишками сухого продукту. У разі неякісного чищення сушильної установки кількість відкладень підвищується в 1,5...2 рази.

Інтенсивність відкладень залежить від температури внутрішньої поверхні сушильної камери, що на практиці трохи нижче температури частинок молочного порошку, які відкладаються на ній. Із підвищенням температури стінки інтенсивність відкладень зменшується.

Збільшенню відкладень продукту в сушильній камері сприяють також підсмоктування холодного повітря в установку або нерівномірне розпилення згущеного молока, коливання температури повітря та розрідження в сушильній камері, недостатній прогрів її внутрішньої поверхні під час пуску установки.

На кількість відкладень впливає вологість частинок, що потрапляють на внутрішню поверхню сушильної камери. За значної вологості молочного порошку кількість відкладень різко зростає.

Відкладення сухого продукту спостерігаються на всіх типах сушильних установок, що експлуатуються в наш час, і характеризуються досить значними величинами 0,08...0,23 кг/м<sup>2</sup>·год. На практиці для зменшення налипання молочного порошку створюють періодичну вібрацію стінок сушильної камери, застосовують різні збиральні механізми, локальний або загальний обдув внутрішніх поверхонь.

Частинки сухих молочних продуктів здатні прилипати не лише до сторонніх твердих поверхонь, але й одна до одної. Для позначення міцності зв'язку між злиплими частинками використовують термін «когезія». Когезія належить до поверхневих явищ, а викликана тими самими поверхневими силами, що й адгезія.

На величину когезії значно впливає вміст вологи в сухих молочних продуктах. З одного боку, це викликано можливістю виникнення капілярних сил когезії за рахунок утворення рідинної манжети між частинками молочного порошку, з іншого – у результаті збільшення площі контакту між окремими частинками внаслідок зміни пластичності частинками або їхнього поверхневого шару можливе зростання Ван-дер-Ваальсових сил.

Результати досліджень показують, що в разі підвищення вмісту вологи в молочному порошку з 2 до 4% величина когезії сухого незбираного молока зменшується незначно, за умови подальшого підвищення вмісту вологи спостерігається зростання когезії. Когезія сухих продуктів практично не залежить від вмісту в ньому загального та вільного молочного жиру й визначається головним чином вмістом молочного жиру, розподіленого на поверхні частинок сухого молока.

*Теплофізичні властивості.* Питому теплоємність сухих молочних продуктів у Дж/кг·К з урахуванням їх вологості можна визначити за рівнянням

$$c=(c_{cp}100+c_{в}W)/(100+W), \quad (7.27)$$

де  $c_{cp}$ ,  $c_{в}$  – відповідно питома теплоємність сухих речовин і води, Дж/(кг·К);

$W$  – вологовміст вологи в сухому продукті, %.

*Коефіцієнт теплопровідності* залежить від густини й об'ємної маси сухих молочних продуктів. Із підвищенням об'ємної маси спостерігається



швидке зростання теплопровідності. Це зв'язано зі зменшенням об'єму повітря, що має низьку теплопровідність, у продукті в результаті більш компактного розташування частинок у продукті з підвищеною об'ємною масою.

Коефіцієнт теплопровідності залежить також від температури та вологовмісту продукту. У разі зменшення вологості продукту зменшується коефіцієнт теплопровідності. За температури 20° С і об'ємної маси 500...600 кг/м<sup>3</sup> коефіцієнт теплопровідності сухих молочних продуктів становить 0,1...0,25 Вт/(м·К). Із підвищенням температури сухого молочного продукту коефіцієнт теплопровідності збільшується за лінійною залежністю.

За температури 20...40° С коефіцієнт температуропровідності сухих молочних продуктів стандартної вологості коливається в межах 0,12...0,16 м<sup>2</sup>/с. За умови підвищення вологовмісту сухого продукту коефіцієнт температуропровідності збільшується.

#### 7.6.4. Самозаймання та вибухонебезпечність сухих молочних продуктів

Самозаймання сухих молочних продуктів викликане розвитком за певної критичної температури навколишнього середовища екзотермічних реакцій, що призводять до підвищення температури молочного порошку. У разі створення умов, за яких швидкість тепловідведення від продукту в навколишнє середовище нижча тепловиділення, відбудеться самозаймання сухого молока.

У практичних умовах із достатньою точністю під час самозаймання сухого молока залежність тривалості індукційного періоду від температури навколишнього середовища  $t$  (у °С) можна обчислити за емпіричною формулою:

$$t = 175\tau^{-0.122}. \quad (7.28)$$

Критична температура самозаймання залежить в основному від розмірів і геометричної форми відкладення молочного порошку, а також від коефіцієнта його тепловіддачі навколишньому середовищу. Для самозаймання найбільш небезпечні відкладення у вигляді плоского шару. Так, за висоти шару 15 мм ця температура дорівнює 210° С, за 30 мм – 168° С, а за 50 мм критична температура самозаймання становить 147° С.

На самозаймання впливає склад сухих молочних продуктів. Це зумовлено різною окисною активністю СЗМЗ і молочного жиру. Найбільше схильні до самозаймання сухі молочні продукти, що містять 25...30% жиру. На самозаймання сухих молочних продуктів істотно впливає вміст цукрів (лактози) у продукті. Із цієї причини суха молочна сироватка самозаймається менш активно, ніж сухе незбиране або знежирене молоко.

Підвищеною схильністю до самозаймання характеризується сухе молоко з меншим середнім розміром частинок. Активність самозаймання сухого молока трохи зростає після досягнення об'ємної маси 600...700 кг/м<sup>3</sup>. У разі подальшого підвищення об'ємної маси (800 кг/м<sup>3</sup> і більш) різко знижується

здатність продукту до самозаймання в результаті недостатчі кисню в масі сухого молока.

Під час правильної експлуатації сушильних установок небезпека самозаймання сухого молока практично виключена. Проте в разі недостатньо якісного чищення та миття сушильної установки локальні відкладення, що залишилися, є основою для утворення більш значних за величиною відкладень продукту.

Під час експлуатації сушильного устаткування найбільш небезпечно припиняти подачу згущеного молока на сушіння, якщо продовжується надходження гарячого повітря. Уже через кілька хвилин після припинення подачі згущеного молока температури повітря, що входить і виходить із сушильної камери, вирівнюються. У результаті цього з'являється реальна небезпека швидкого загоряння сухого продукту в сушильній камері, фільтрах або циклонах. Для запобігання можливості загоряння в цій ситуації необхідно передбачати обов'язкове блокування (відключення) подачі гарячого повітря.

Самозаймання сухих молочних продуктів може призвести не лише до пожежі, але й до вибуху, якщо молочний порошок знаходиться в зваженому стані. Основними чинниками, що сприяють виникненню вибуху молочного порошку є джерело запалення, концентрація порошку в повітрі, вміст у повітрі кисню; другорядними – гранулометричний склад сухого молока, вміст вологи в порошок та повітрі, швидкість руху аерозависі та ін. Загоряння можливе від будь-якого джерела, що має необхідний запас енергії для того, щоб довести досить великий об'єм аерозависі молочного порошку до температури займання. Температура запалення сухого молока  $490^{\circ}\text{C}$ .

Причиною займання та вибуху суміші молочного порошку з повітрям можуть бути електричні розряди. Слід зазначити, що на практиці все електричне устаткування розміщене поза внутрішнім об'ємом сушильної установки, у результаті чого різко зменшується небезпека вибуху. У разі значної запиленості приміщення, у якому розташовується сушильна установка, варто враховувати можливість виникнення іскри від електродвигунів. Джерелом іскри можуть бути також лопаті вентилятора, що зачіпаються за кожух. Певну небезпеку може становити також розряд статичної електрики. Таким чином необхідно всі частини сушильної установки надійно заземлювати.

Для вибухонебезпечних порошків, що знаходяться в стані аерозависі, користуються поняттями нижнього та верхнього рівнів концентрації вибуху, що виражаються в грамах на  $1\text{ м}^2$  повітря. За значень нижче та вище концентраційних меж вибуху не відбувається. Найбільше значення має нижня концентраційна межа, яка характеризує діапазон безпечних умов роботи сушильної установки. Для різних сухих молочних продуктів вона становить  $7,1\text{...}8,3\text{ г/м}^3$ . Під час експлуатації сушильних установок вибухонебезпечні концентрації молочного порошку постійно спостерігаються в пневмо- та аерозольтранспортних лініях, в окремих місцях сушильних камер, віброапаратів, у бункерах, фільтр-камерах і циклонах.

До специфічних особливостей виробництва сухих молочних продуктів належить необхідність здійснення комплексу профілактичних заходів щодо

попередження та локалізації потенційно можливих пожеж та вибухів молочного порошку. Для зниження наслідків самозаймання та вибуху молочного порошку сушильні установки повинні бути оснащені системою пожежегасіння, люками й мембранами, що легко відкриваються.

Практика показує, що найбільш імовірною причиною виникнення аварійних ситуацій є порушення правильної експлуатації сушарки. Якщо самозаймання молока все-таки відбудеться, то необхідно негайно припинити роботу сушарки, перекрити подачу гарячого повітря в калорифери та почати подачу води в розпилувач. Якщо установка оснащена системою пожежегасіння, то її треба включати негайно після виявлення вогнища самозаймання сухого молока. Для гасіння пожежі можна застосовувати воду або пару.

## **7.7. Розчинність і відновлюваність сухих молочних продуктів**

### *7.7.1. Фізичні властивості, що визначають розчинність сухих молочних продуктів*

Властивості сухих молочних продуктів, що визначають їх розчинність, охоплюють широке коло показників. Вони залежать від складу та структури сухих молочних продуктів, способів і режимів сушіння, умов проведення технологічних процесів, що передують сушінню. Стосовно сухого молока найбільш важливу роль відіграють два аспекти процесу розчинення – це повнота та кінетика розчинення.

Повнота розчинення характеризує відносну кількість сухих речовин продукту, що перейшли в розчин і не випадають із нього в осад (знаходяться в стані рівноваги).

Кінетика розчинення характеризує закономірності переходу компонентів молока в розчин із часом та визначає швидкість процесу.

Розчинність сухого молока характеризується такими властивостями: змочуваність, проникність; розпускання. Зазначені властивості доповнюються двома показниками, що характеризують загальні закономірності переходу молока в розчин: повнотою та швидкістю розчинення.

*Змочуваність* – це здатність частинок продукту змочуватися водою за певної температури без перемішування. Вона є результатом прояву взаємодії молекул на межі трьох одночасно існуючих фаз: твердої, рідкої та газоподібної.

Одна з головних характеристик змочування – крайовий кут змочування, що залежить від виду матеріалу твердого тіла, вологості його поверхні, виду змочувальної рідини й інших чинників, що важко піддаються теоретичному аналізу.

Крайові кути змочування залежать від фракційного складу молочного жиру, що знаходиться на поверхні частинок сухих молочних продуктів. На величину крайового кута змочування різних сухих молочних продуктів істотно впливає температура, у разі підвищення якої крайовий кут змочування зменшується. Важливим чинником є те, що в початковому періоді зберігання

сухих жировмісних молочних продуктів крайовий кут змочування збільшується.

Другим важливим показником, що характеризує змочуваність, є швидкість змочування, яку можна оцінювати швидкістю руху фронту змочувальної рідини в шарі порошку. Швидкість змочування має максимальне значення  $4...6 \cdot 10^{-4}$  м/с, що спостерігається для агломерованого порошку з діаметром частинок 80...120 мкм. Для неагломерованого молочного порошку швидкість змочування в 1,5...2 рази нижче.

Для оцінки змочування сухих молочних продуктів застосовують методи, засновані на визначенні швидкості занурення у воду вільно насипаної на її поверхню наважки продукту. Відповідно до стандартного методу визначення змочуваності в хімічну склянку ємністю 400 мл із налитими в неї 100 мл води за температури 20° С поміщають 10 г сухого знежиреного молока. Тривалість повного занурення частинок продукту у воду слугує мірою його змочуваності. Молоко вважається швидкорозчинним, якщо воно змочується протягом 15 с.

Найбільший крайовий кут змочування характерний для молочного жиру, що має вирішальний вплив на змочуваність жировмісних сухих молочних продуктів. Перехід молочного жиру в рідкий стан сприяє різкому підвищенню змочуваності за температури води більше 30° С. У той же час процес змочування у воді за температури більше 65° С дещо погіршується в результаті утворення погано розчинної плівки на грудочках продукту, що зварилися. Для поліпшення властивостей розчинності додають ПАР або інші легкозмочувані компоненти до сухого молока. Для ефективного процесу одержання сухого швидкорозчинного незбираного молока приблизно 70% поверхні повинно бути покрито ПАР. Для сухих молочних продуктів, поверхня яких повністю покрита жировою фазою, величина показника зростає до 80%.

*Проникність* (пенетрабельність) – здатність змочених частинок насичуватися водою до відомої глибини. Доступ до внутрішніх областей частинки може здійснюватися як за рахунок змивання поверхневих шарів частинки, так і внаслідок проникнення води в капіляри.

*Розпускання* (дисперсність) – здатність осідних і осілих частинок розподілятися в «спокійній» воді без утворення грудочок. Процес розпаду частинок молочних продуктів значною мірою визначається міцністю контакту між агломерованими частинками та їх здатністю до проникності.

*Занурюваність*. Важливою властивістю частинок порошку є їхня здатність занурюватися у воду на визначену глибину до повного їхнього розчинення. При цьому швидкість занурення повинна бути оптимальною. Під час занадто повільного занурення на поверхні розчину утворюється область підвищеної густини та в'язкості, що призводить до погіршення умов розчинення для нових частинок безпосередньо в поверхні води. Занадто швидке занурення частинок призводить до утворення на дні посудини не повністю розчинених частинок. За оптимальної швидкості занурення частинки певного гранулометричного складу повинні рівномірно розчинятися по всьому об'єму.

Швидкість занурення сферичної частинки визначається з рівності сили тяжіння й сили опору рідини:

$$v_{oc} = \frac{gd^2(\rho_{п} - \rho_{в})}{18\eta_{в}}, \quad (7.29)$$

де  $v_{oc}$  – швидкість осадження частинки, м/с;

$d$  – діаметр частинок порошку, м;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_{п}$  густина частинок порошку та густина води, відповідно, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta_{в}$  – динамічна в'язкість води, Па·с.

Швидкість занурення частинок неправильної форми менша швидкості занурення кулястих частинок. Зменшують швидкість осадження частинок взаємний вплив їх одна на одну в умовах стисненого занурення, полідисперсність молочного порошку, зустрічний рух частинок, що мають густину меншу за 1000 кг/м<sup>3</sup>. Експериментально визначено, що оптимальними властивості занурення мають сухі молочні продукти з густиною вище 1200 кг/м<sup>3</sup>, розміром одиночних частинок більше 70 мкм, агломерованих – більше 250 мкм.

### 7.7.2. Розчинність сухих молочних продуктів і чинники, що впливають на неї

На практиці повноту розчинення виражають у відсотках кількості розчинених сухих речовин молока у воді до кількості сухого молока. Цей показник часто виражають також у мілілітрах сирого осаду після центрифугування розчиненого наваженого сухого молока.

Стандартний метод визначення розчинності полягає в тому, що наважку сухого продукту розводять у градуйованій пробірці в 10 мл води за 65...70° С, витримують 5 хв на водяній бані за тієї самої температури, а потім енергійно струшують протягом 1 хв. Після цього пробірки поміщають у центрифугу, центрифугують протягом 5 хв із моменту досягнення частоти обертання 1000 об/хв. Після закінчення центрифугування визначають осад у пробірці, для чого пробірку обережно перевертають і намічають межу осаду. Об'єм осаду, рівний 0,1 мл, відповідає 1% сухого нерозчинного залишку молока.

Установлено, що основну частину нерозчинного залишку складає білково-жировий комплекс, у який входять сполуки кальцію та фосфору.

На практиці швидкість переходу компонентів сухого молока в розчин виражають у відсотках кількості розчинених за визначений час сухих речовин молока у воді до кількості сухого молока. Це головний показник процесу відновлення сухих молочних продуктів, він найбільш повно характеризує властивості розчинності сухого молока, тому що визначає не лише швидкість, але і повноту переходу сухого молока в розчин.

Метод Американського інституту сухого молока полягає в тому, що 52 мл сухого знежиреного молока або 67,5 мл сухого незбираного молока заливають 400 мл води температурою 24° С і перемішують механічною мішалкою. Після перемішування протягом 20 с суміш фільтрують і 10 мл фільтрату висушують у сушильній шафі. Швидкість розчинення (диспергування) визначають у

відсотках сухих речовин, що перейшли в розчин. Для швидкорозчинного знежиреного молока цей показник у середньому становить 62%, сухого незбираного молока та знежиреного – 16...35%.

Відносну швидкість розчинення розраховують, виходячи з того, що поточна відносна швидкість розчинення пропорційна максимальній, яка відповідає вмісту сухих речовин у повністю відновленому сухому молоці. Кінетика розчинення сухих молочних продуктів на початковій і сталій стадії процесу досить добре описується такими рівняннями:

$$\text{ВШР} = C_p (1 - e^{-k\tau}), \quad (7.30)$$

де ВШР – показник відносної швидкості розчинення, %;

$C_p$  – повнота розчинення,  $C_p = 100\%$ ;

$k$  – константа швидкості розчинення.

Розчинення сухих молочних продуктів умовно можна охарактеризувати двома стадіями. Перша стадія характеризується підвищеною швидкістю переходу молочного порошку в розчин. Константа швидкості розчинення на першій стадії процесу відновлення завжди більша, ніж на другій. Константа швидкості розчинення швидкорозчинних молочних порошоків на початковій стадії процесу відновлення, тобто в межах установленого показника відносної швидкості розчинення (не менше 60% за 5 с розмішування), не повинна бути меншою 0,18.

Повнота та швидкість відновлення сухих молочних продуктів значною мірою визначаються властивостями вихідного молока, його хімічним складом, а також низкою властивостей, що знаходяться у взаємозв'язку з режимами температурної та механічної обробки продукту на всіх стадіях одержання молочного порошку.

Розчинність сухих молочних продуктів деякою мірою пов'язана з властивостями молока-сировини. У сирому молоці нерозчинна частина СМЗ (сухий молочний залишок) коливається в межах 0,12...0,25 г/кг, що становить 20...25% сумарного нерозчинного СМЗ сухого незбираного молока.

На розчинність негативно впливає часткове підморожування молока, що можливе на фермах і під час транспортування в зимовий час. Найбільша кількість нерозчинної частини СМЗ міститься в сирому молоці влітку, найменша – навесні й узимку.

Основним чинником, що впливає на зниження розчинності, є вплив температури на продукт у процесі його пастеризації, згущення та сушіння. Основну частину нерозчинного осаду складає білково-жировий комплекс, а в ході всього технологічного процесу спостерігається тенденція до збільшення вмісту жиру в молоці. У разі зміни температури пастеризації від 96...98 до 75° С вміст нерозчинного сухого молочного осаду зменшується в 1,5...2 рази. Тому рекомендується застосовувати пластинчасті високотемпературні підігрівники плівкового типу, що працюють із меншим перепадом температур.

Під час випарювання молока на випарних установках циркуляційного типу сухе молоко має меншу розчинність. Тому під час пастеризації пароконтактним способом після підігрівання для видалення нерозчинного сухого молочного осаду рекомендується відцентрове очищення молока.

Витримування згущеного молока перед сушінням у проміжних резервуарах, широко розповсюджене на практиці, також призводить до зниження розчинності. У зв'язку з цим найбільш прийнятна подача згущеного молока безпосередньо з вакуум-апарата в сушарку.

Температурний вплив на сухе молоко залежить від способу сушіння. Основним чинником, що погіршує розчинність сухих молочних продуктів під час висушування на вальцових сушарках, є відносно тривала обробка продукту за порівняно жорстких температурних режимів. Скорочення тривалого кипіння продукту на вальцях сушарки за рахунок нанесення його валиками або напилюванням різко поліпшує його розчинність порівняно з методом наливу. Іншими реальними шляхами підвищення розчинності сухого молока є збільшення швидкості обертання вальців і, як наслідок, скорочення тривалості сушіння продукту.

Втрата розчинності за розпилювального сушіння залежить від низки чинників. Розчинність сухого молока зменшується з підвищенням температури повітря, в'язкості згущеного молока та швидкості подачі продукту. Спосіб розпилення згущеного молока істотно не впливає на розчинність сухого молока, проте кращу розчинність має сухе молоко, вироблене на прямотечійних сушильних установках.

Незважаючи на порівняльну стійкість білкової фази сухого молока, тривалість його перебування в зоні підвищених температур сушильної камери повинна бути мінімальною. Наявність у сушильній камері відкладень молочного порошку призводить до його перегріву і втрати розчинності. Наступне змішування його з основною масою порошку знижує розчинність готового продукту.

На швидкість розчинення сухих молочних продуктів істотно впливає також гранулометричний склад продукту. Оптимальний розмір агломератів сухого швидкорозчинного молока повинен знаходитися в межах від 0,25 до 1 мм. На відносну швидкість розчинення впливає кількісне співвідношення великих і дрібних частинок у сухому молоці. За наявності в сухому молоці навіть незначної кількості частинок порівняно невеликого розміру різко зменшується відносна швидкість розчинення продукту.

Одними з вирішальних чинників, що визначають змочуваність і швидкість розчинення у воді, є склад, вміст і розподіл жиру в молочному порошку. Легкоплавкі жирні кислоти, що містяться в молочному жирі, мають підвищену здатність до емульгування. Значний вміст молочного жиру на поверхні частинок сухого молока не тільки погіршує змочуваність, але й ускладнює швидкий перехід білка в розчин. У гомогенізованому молоці вільного жиру міститься в 4–6 разів, а поверхневого – у 1,5...2 рази менше, ніж у негомогенізованому молоці.

На практиці можна впливати на розчинність сухих молочних продуктів такими заходами.

Для вироблення сухого незбираного швидкорозчинного молока необхідно прагнути одержати молочний порошок, густина якого перевищує  $1200 \text{ кг/м}^3$ .

Для одержання сухого агломерованого молока з високою швидкістю розчинення: концентрація сухих речовин у згущеному молоці повинна бути 45...48%, температура повітря на вході в сушарку  $190...200^\circ \text{C}$ , на виході –  $80...90^\circ \text{C}$ . Оптимальна температура досушування молочного порошку  $60^\circ \text{C}$  на вібросушарці з частотою коливань 24...25 Гц і амплітудою 1,5...2 мм. Оптимальна вологість порошку 5...6,5%, за меншої вологості агломерати сухого незбираного молока не мають достатньої міцності, за більшої через необхідність тривалої температурної обробки знижуються показники якості продукту, що одержують.

У процесі агломерації та сушіння частинок знежиреного молока оптимальна вологість продукту трохи вища, ніж під час обробки сухого незбираного молока. Оптимальна вологість продукту під час обробки в киплячому шарі – 10%.

Наступна обробка агломерованого молока (його транспортування, зберігання в бункерах і фасування) повинна мінімально впливати на його гранулометричний склад і вміст у ньому вільного жиру. Так, під час проходження сухого незбираного агломерованого молока по віброситу сушильної установки відносна швидкість розчинення знижується на 15...20%, а після транспортування за допомогою аерозольтранспортної лінії – на 40...50%.

Із транспортувальних пристроїв для цих цілей найбільш підходять норії, скребкові, а також вібраційні транспортери. Під час зберігання готового продукту у твердих контейнерах властивості швидкої розчинності не втрачаються тривалий час.

У процесі зберігання відносна швидкість розчинення сухого знежиреного молока практично не змінюється, а сухих жировмісних молочних продуктів, особливо в перші дні зберігання, зменшується істотно (у 2...2,5 рази за перші 30...40 діб).

### *7.7.3. Процес відновлення сухих молочних продуктів.*

#### *Загальна характеристика та особливості*

Основна вимога до сухих молочних продуктів полягає в тому, що після відновлення вони повинні мати властивості, які мали до сушіння. Процес відновлення повинен забезпечити повне розчинення частинок продукту та швидкий перехід усіх компонентів молока в розчин.

Як відомо, розчинення дисперсних систем можна інтенсифікувати, збільшуючи поверхню контакту продукту з розчинником (водою). Під час відновлення сухих молочних продуктів це не завжди вдається через здатність сухих молочних продуктів утворювати на поверхні розділу фаз газ – рідина плівку, що перешкоджає розчиненню нових порцій продукту, а також через



схильність сухих молочних продуктів до утворення грудочок або окремих частинок. Крім того, вільний жир на поверхні частинок екранує вільну від жиру поверхню від доступу води, причому зазначене явище значною мірою залежить від температури відновлення продукту.

На процес відновлення істотно впливають також склад розчинника та низка параметрів, зумовлених конструкцією устаткування, що застосовується для відновлення, і режимами цього процесу. Розглянемо основні особливості та закономірності процесу відновлення.

Після розчинення сухого незбираного молока на поверхні розділу фаз рідина – газ часто залишаються частинки молочного порошку, що не розчинилися. Подібні частинки мають, як правило, порівняно великий розмір, досить значні вакуолі та спливають на поверхню. Під час відновлення сухого молока у воді, що має температуру нижче точки плавлення молочного жиру, не розчиняються також частинки, поверхня яких покрита жировою плівкою.

У процесі відновлення частинки сухого молока здатні також утворювати скупчення у вигляді грудочок, що важко розчиняються. Для усунення цих недоліків зазвичай застосовують інтенсивну механічну обробку суміші. Розчинення сухих швидкорозчинних молочних продуктів здійснюється без механічного впливу. Це досягається оптимізацією гранулометричного складу сухого продукту шляхом одержання частинок заданого розміру та наступного зв'язування їх в агломерати.

У молоці, відновленому із сухого, іноді спостерігається відстоювання молочного жиру, поява на його поверхні лінзоподібних або пластівчастих включень. Особливо часто це спостерігається під час вироблення продукту з не гомогенізованого молока.

Відновлення сухого знежиреного молока супроводжується досить інтенсивним піноутворенням. Проте стабільність цієї піни невисока. Піноутворення виключається тільки під час відновлення сухого молока, що не містить включень повітря в частинках і якщо частинки мають досить стабільну жирову фазу.

Хімічний склад води, що застосовується для відновлення сухого молока, також впливає на його розчинність. Зі зменшенням жорсткості води підвищується розчинність сухого молока. Для відновлення краще використовувати зм'якшену воду загальною жорсткістю приблизно 0,16 мг-екв/л, застосування якої дозволяє підвищити розчинність сухого молока приблизно на 5%.

Для підвищення розчинності сухого знежиреного молока зі значним вмістом денатурованого білка рекомендується додавати до пастеризації перед згущенням або відновленням певну кількість деяких фосфатних і цитратних солей. Найкращу розчинність має сухе молоко з додаванням солі  $\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ , що вносять у пастеризоване молоко перед згущенням.

Повнота розчинення сухого молока залежить також від тривалості витримання відновленого продукту. Щоб забезпечувався повний перехід білкової фази молока в колоїдний стан, на практиці застосовують витримання відновленого молока протягом декількох годин. Для стабілізації системи за

в'язкістю та густиною досить 3 год під час розчинення сухого незбираного молока у воді, що має температуру 6...8° С, і 2 год – за 45° С.

Повнота та швидкість відновлення сухих молочних продуктів змінюється залежно від режимів і тривалості зберігання. Змочуваність продукту істотно погіршується під час збереження сухого швидкорозчинного знежиреного молока з підвищеним вмістом вологи (більше 6,6%).

На повноту та швидкість розчинення сухих молочних продуктів впливає також інтенсивність перемішування. Під час інтенсифікації процесу перемішування розчинність сухих молочних продуктів підвищується, проте кількісно зростання її невелике. Установлено, що швидкість відновлення сухого молока залежить більшою мірою від швидкості перемішування, ніж від його тривалості.

## **7.8. Технологія зберігання сушеної продукції**

### *7.8.1. Чинники, що впливають на тривалість зберігання сушеного молока та молочних продуктів*

Якість молочних консервів визначається комплексом різних показників, що характеризують склад і властивості продукту. Найважливішими з цих показників є харчова цінність, засвоюваність і стійкість під час тривалого зберігання.

Технологія різних видів молочних консервів складається з окремих, послідовно зв'язаних між собою операцій. Кожен елемент технологічного процесу впливає на склад і властивості молока, що переробляється. Так, тривале резервування молока до перероблення (12...24 год і більше) погіршує його технологічні властивості: збільшується кислотність, накопичуються вільні жирні кислоти, окиснюється молочний жир, посилюється активація ферментів, відбувається частковий гідроліз білкових речовин, змінюються властивості сироваткових білків і казеїну, перерозподіляються форми мінеральних речовин. Усі ці зміни в сировині негативно впливають на якість молочних консервів.

Для стабілізації складу та властивостей молока рекомендується пастеризувати молоко на заводах із подальшим зберіганням його в охолодженому вигляді. Запровадження цього елемента в технологічну схему під час вироблення сухого незбираного та згущеного стерилізованого молока підвищує їх якість і стійкість: збільшується агрегатна стійкість білків у згущеному продукті та знижуються до мінімуму окисні процеси в сухому.

У сухому незбираному молоці основними дефектами, що знижують його якість, є лійовий смак і запах. Чинники, що сприяють появі цих дефектів, різні: склад і властивості жиру, термічні впливи під час різних технологічних операцій, умови зберігання, спосіб упакування. Найменшу стійкість до окиснювання має сухе незбиране молоко, вироблене навесні, найбільшу – отримане влітку внаслідок підвищеного вмісту в літньому жирі природних антиокислювачів. Для гальмування автокаталітичного окиснювання сухого

незбираного молока використовують штучні антиокислювачі: кверцетин, ефіри галової та аскорбінової кислот, аскорбінову кислоту.

На сьогодні для припинення розвитку цвілі та мікрококів, підвищення стійкості молочних консервів застосовують харчові консерванти, переважно сорбінову кислоту та її солі, внесені в кількості не більше 0,02% маси продукту. Їх дія в основному спрямована на придушення росту плісеней та дріжджів. Менш ефективна вона щодо бактерій. Активність сорбінової кислоти залежить від рН, температури та вмісту вологи в продукті, тому для кожного виду консервів її дозування та способи застосування встановлюються дослідним шляхом.

На стійкість молочних консервів впливають також якість жерсті для банок, герметичність тари, наявність важких металів у готовому продукті, спосіб розфасування та зберігання.

### 7.8.2. Дефекти сушених молочних продуктів

*Смак і запах застарілого жиру* в сухому незбираному молоці й інших сухих молочних продуктах із високим вмістом жиру з'являються в результаті окиснювання в гліцеридах жиру ненасичених кислот з утворенням тугоплавких гліцеридів. Цьому сприяє велика поверхня контакту сухого молока з повітрям. Доступ кисню, вплив світла, наявність солей міді, заліза прискорюють окисні процеси та призводять до псування сухого молока.

Крім запобіжних заходів (ретельний контроль сировини, дотримання необхідного температурного та вологісного режиму в складах, збереження продукту в середовищі інертних газів), для запобігання цьому дефекту на сьогодні застосовують антиокисники. Як ефективні антиокисники зарекомендували себе кверцетин, аскорбінова кислота, гідрохінон, токоферол, ефіри галової та аскорбінової кислот (пропілгалат, додецилгалат та ін.), лимонна й фосфорна кислоти.

*Прогіркання* відбувається внаслідок гідролізу жиру й окиснювання жирних кислот з утворенням альдегідів, кетонів та ін. Цьому сприяють розвиток мікрофлори, що виділяє фермент ліпазу, вплив високої температури, світла, наявність солей важких металів, висока вологість повітря в сховищах.

*Затхлий смак і запах* зумовлені фізико-хімічними змінами в білковій фазі молока, що протікають за підвищеної вологості продукту, а також у разі збереження порошку в негерметичній тарі у вологих приміщеннях із поганою вентиляцією та високою температурою повітря.

*Знижена розчинність* спостерігається за підвищеної залишкової вологості продукту та поглинання нею вологи з навколишнього середовища в процесі зберігання, у результаті чого утворюються погано розчинні аміноцукри. Оптимальний вміст вологи в сухому молоці – 2...4%. Розчинність продукту знижується також під час використання сировини підвищеної кислотності, тривалого витримування молока в умовах високих температур, сушіння за високої температури й тривалого перебування порошку в сушарці. Усі ці чинники викликають структурні зміни в молекулі білка.

*Потемніння сухого молока* відбувається під час зберігання його в умовах підвищеної вологості й температури, коли внаслідок внутрішньомолекулярних змін у лактозі і білку утворюються меланоїдини, що надають молочному порошку жовтий, коричневий або бурий колір. Цей дефект супроводжується появою неприємного запаху, а також зниженням розчинності. Із підвищенням температури зберігання процес потемніння прискорюється (у три-чотири рази на кожні 10° С), тому сухі молочні консерви необхідно зберігати за температури не вище 10° С.

*Пригорілі крупинки сухого молока* зустрічаються переважно в молоці, виробленому методом плівкового сушіння, за дуже високої температури поверхні барабана або уповільненого його обертання. У молоці, отриманому розпилювальним сушінням, пригорілі частинки можуть з'явитися під час недостатньо ретельного очищення сушильної камери після сушіння та змішування нормального й пригорілого молока.

### *7.8.3. Матеріали та тара для упакування сушених молочних консервів*

Гарне упакування сухого молока й інших сухих молочних продуктів сприяє тривалому збереженню їх якості. Пакувальний матеріал разом із необхідною механічною міцністю повинен бути непроникним для кисню та вологи. Для упакування сухого молока та сухих молочних продуктів застосовують головним чином велику й дрібну тару разового використання. Застосовується також велика багатооборотна тара для фасування й транспортування деяких сухих молочних продуктів.

Застосовується тара герметична та негерметична. Для її виготовлення використовують метал (білу, чорну лаковану та хромовану жерсть, алюміній), дерево, папір. Матеріал тари не повинен впливати на склад і властивості консервів.

Сухі молочні продукти розфасовують у комбіновані банки, картонні коробки, мішки з крафт-паперу та фанерно-штамповані барабани. Картонні коробки для розфасування сухих вершків, незбираного молока, молочних продуктів дитячого харчування виготовляють із внутрішнім пакетом із лакованого целофану, фольги або папера з поліетиленовою прокладкою. Для склеювання застосовують спеціальний клей із декстрину, що готується безпосередньо перед використанням, а також синтетичні клейові емульсії.

Сухі молочні продукти не можна зберігати в комбінованих пакувальних матеріалах – целофані й лавсані, покритих поліетиленом, тому що через 45–90 днів зберігання продукту передається запах плівки. Під час зберігання в комбінованих матеріалах за температури 22 (±2)° С краще збереження протягом шести місяців забезпечують пакети з хостофану РС – металу на основі алюмінієвої фольги та поліетилену. Стійкість сухого молока під час зберігання в герметичній тарі підвищується за умови розфасування в атмосфері інертних газів – азоту або суміші з 90% CO<sup>2</sup> і 10% N<sub>2</sub>. Для видалення кисню повітря з бляшаних банок із сухим молоком використовують також вакуумування або

додають фермент глюкооксидазу. Також для підвищення стійкості сухого молока застосовують різні антиокисники.

Сухе незбиране молоко упаковують у споживчу й транспортну тару. До споживчої тари належать металеві банки із суцільною або зі знімною кришкою масою нетто 250, 500 і 1000 г, комбіновані банки зі знімною кришкою масою нетто 250 і 500 г, клеєні пачки масою нетто 250, 400, 500 і 700 г із внутрішнім герметично заклеєним пакетом з алюмінієвої фольги, паперу, лавсану, покритих поліетиленом або іншими полімерними матеріалами, допущеними до застосування. За узгодженням зі споживачем допускається розфасування сухого незбираного молока в суцільні металеві банки або зі знімною кришкою масою не більш 1000 г.

Комбіновані порожні банки та фольгу, що підкладається під горловину для знімних кришок, опромінюють бактерицидними лампами. Дно комбінованої банки перед закачуванням також опромінюють бактерицидними лампами або стерилізують гарячим повітрям. Металеві банки й кришки перед розфасуванням миють, обдають гострою парою та ретельно просушують або обробляють так само, як комбіновані банки.

Транспортною тарою є паперові чотири- та п'ятишарові мішки масою нетто 25, 30 кг, клепкові та фанерно-штамповані бочки масою нетто 25, 30 кг із поліетиленовими вкладишами у вигляді мішків із щільно забитими швами. Горловину мішка-вкладиша після заповнення заварюють або перев'язують подвійним вузлом із перегином. Під час відвантаження сухих молочних продуктів у віддалені райони готову продукцію упаковують у фанероштамповані бочки ємністю 0,05 м<sup>3</sup> із поліетиленовими вкладишами. Дерев'яні клепкові бочки перед розфасуванням парафінують.

Значне поширення останнім часом отримало також фасування сухих молочних продуктів у металеві банки різної ємності, виготовлені в основному з лудженої жерсті. Для підвищення тривалості збереження продукту його упакування в банки здійснюють на спеціальних лініях у середовищі азоту або вуглекислого газу.

#### *7.8.4. Зберігання сушених молока та молочних продуктів*

Склад для зберігання молочних консервів повинен бути чистим, сухим, добре вентиляваним, обладнаним центральним опаленням і за необхідності холодильною апаратурою. Молочні консерви зберігають на стелажах. Між рядами шухляд, бочок і барабанів прокладають рейки завтовшки 2...3 см. Укладають консерви штабелями на відстані від стін і опалювальних приладів не менше 0,3 м і між штабелями не менше 0,1 м. Штабелі постачають етикетками з позначенням номера сушіння, виду та сорту продукції, кількості місць, маси, часу виготовлення. Бочки із сухим незбираним молоком укладають висотою в три ряди, паперові мішки – не більше восьми. Сухе незбиране молоко в споживчій і транспортній тарі з поліетиленовими вкладишами зберігають за температури від 1 до 10° С і відносної вологості повітря не вище 85% не більше восьми місяців із дня вироблення; сухе незбиране молоко та сухі вершки в

клеєних пачках із целофановими вкладишами та фанерно-штампованими бочками з вкладишами з пергаменту, целофану за температури від 1 до 20° С, відносної вологості повітря не вище 75% – не більше трьох місяців. Термін зберігання сухого незбираного молока на комбінаті в складах із нерегульованою температурою не перевищує 15 діб.

Для тривалого зберігання сухих молочних консервів оптимальною є температура 4...5° С. При цьому відносна вологість приміщень для зберігання продуктів у негерметичній тарі не повинна перевищувати 75%, а всіх інших видів консервів у герметичній і негерметичній тарі – 85%. У процесі зберігання варто встановити постійне спостереження за якістю молочних консервів. Через кожні три місяці їх перевіряють. Гарантійні терміни сухих молочних продуктів подано в табл. 7.1.

**Таблиця 7.1 – Гарантійні терміни зберігання сухих молочних консервів**

Вид консервів	Термін зберігання, міс.	
	Тара герметична	Тара негерметична
Сухе молоко	8	3
Сухі вершки з цукром і без цукру	8	3
Сухі кисломолочні продукти	8	–
Сухі продукти для дитячого харчування	8	–

#### *7.8.5. Мікробіологічний і технохімічний контроль виробництва сушених молочних консервів*

*Мікробіологічному контролю* в процесі виробництва молочних консервів піддають:

- сировину перед запуском на виробництво;
- готову продукцію;
- апаратуру;
- устаткування й тару;
- допоміжні матеріали;
- воду та повітря;
- руки робітників.

Мета мікробіологічного контролю – строге дотримання санітарного режиму виробництва та випуск високоякісних молочних консервів, стійких за тривалого зберігання. Крім того, він дозволяє вчасно знайти джерело бактеріального забруднення, робити висновки про ефективність застосовуваних мийних і дезинфікуючих засобів, оцінити роботу миючих бригад.

*Загальну кількість бактерій* визначають у змивних водах посівом 1 мл змиву в стерильні чашки Петрі. Наявність бактерій групи кишкової палички визначають за шумуванням у рідкому середовищі Кеслера.

*Технохімічний контроль* спрямований на забезпечення випуску продукції в строгій відповідності з вимогами стандартів, технічних умов і технологічних інструкцій. Він охоплює:

- якість молока, що надходить, тари та матеріалів;
- технологічні режими обробки молочних продуктів у процесі виробництва;
- якість готової продукції, тари, упакування, маркування під час випуску готової продукції з підприємства;
- витрату сировини й вихід готової продукції;
- якість продукції, припасів і матеріалів під час зберігання на складах;
- режими та якість миття, дезінфекції посуду, апаратури й устаткування;
- якість реактивів, що застосовуються для аналізу, і порядок їх зберігання.

*Цеховий технохімічний контроль* полягає в знятті та реєстрації основних кількісних і якісних характеристик виробничих процесів у спеціальних журналах. Він виконується особами, що безпосередньо беруть участь у здійсненні цих процесів (апаратником, майстром, бригадиром, змінним інженером та ін.).

*Лабораторному технохімічному контролю* піддають сировину, напівфабрикати, готову продукцію, допоміжні матеріали, реактиви, лабораторну апаратуру, прилади, посуд, воду й ін. Його виконують працівники лабораторії підприємства.

### **Контрольні запитання**

1. Чим зумовлена харчова та біологічна цінність молока?
2. Дайте короткий опис основних компонентів, які входять до складу молока.
3. Як проводиться транспортування, приймання та оцінка якості сировини на вході до сушильного цеху?
4. Як проводяться операції очищення та сепарування молока?
5. У чому полягає процес нормалізації молочної сировини?
6. Із якою метою проводиться гомогенізація молока?
7. Як і з якою метою проводяться операції теплової обробки молока (охолодження, нагрівання та пастеризація)?
8. Як проводиться операція згущення молока?
9. Перерахуйте та дайте коротку характеристику обладнанню для попередньої підготовки сировини.
10. Як проводиться очищення відпрацьованого сушильного агента?
11. Опишіть обладнання для транспортування та фасування порошкового продукту.
12. Наведіть класифікацію сушених молочних консервів і технологічних схем їх виробництва.
13. Опишіть технологію виробництва сушеного незбираного молока та вершків.
14. Наведіть технологічну схему виробництва сухого знежиреного молока, сироватки та скотин, замінників незбираного молока.

15. У чому полягають особливості технології виробництва швидкорозчинних молочних продуктів?
16. Опишіть технологію виробництва молочних продуктів дитячого харчування.
17. Наведіть загальний якісний склад сухих молочних продуктів.
18. Опишіть фізичні властивості сухих молочних продуктів.
19. Чим зумовлений процес самозаймання молочного порошку та його вибухонебезпечність?
20. Як визначається розчинність і відновлюваність сухих молочних продуктів?
21. Які чинники впливають на розчинність сухих молочних продуктів?
22. Дайте загальну характеристику процесу відновлення молочних продуктів, укажіть його особливість.
23. Перерахуйте та дайте коротку характеристику чинників, які впливають на тривалість зберігання сухих молочних продуктів.
24. Опишіть дефекти сушених молочних продуктів.
25. Як і в яку тару проводиться упакування сухих молочних консервів?
26. Які основні умови зберігання сухого молока та сухих молочних продуктів?
27. Які основні вимоги щодо мікробіологічного контролю продукції?
28. Як проводиться технохімічний контроль виробництва?



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Семенов Г. В Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко / Г. В. Семенов, Г. М. Касьянов. – Ростов-на-Дону : МарТ, 2002. – 112 с.
2. Гришин М. А. Установки для сушки пищевых продуктов. Справочник/ М. А. Гришин, В. Т. Атанозевич, Ю. Г. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 215 с.
3. Гинзбург А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – М. : Агропромиздат, 1985. – 336 с.
4. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А. С. Гинзбург. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
5. Липатов Н. Н Сухое молоко: теория и практика производства / Н. Н. Липатов, В. Д. Харитинов. – М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1981. – 263 с.
6. Гришин М. А. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока. Справочник / М. А. Гришин, В. И. Атаназевич, Ю. Г. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 352 с.
7. Сажин Б. С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М. : Химия, 1984. – 488 с.

Навчальне видання

ПОГОЖИХ Микола Іванович  
ПОТАПОВ Володимир Олексійович  
ПАК Андрій Олегович  
ЖЕРЕБКІН Максим Васильович

## **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІКА СУШІННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

Навчальний посібник

Редактор Н. А. Кобилко

План 2016 р., поз. 32/

Підп. до друку 27.12.2016. Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк офс.

Ум. друк. арк. 14,6. Тираж 100 прим.

---

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4417 від 10.10.2012 р.