

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор _____ **Іванов С.В.**
(підпис)

_____ **2013р.**

**О.І. ЛЕВЧЕНКО
М.С. ГЛУЩЕНКО
О.Й. РІШАН
О.М. ПУПЕНА**

ОБ'ЄКТИ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ГАЛУЗІ

**КУРС ЛЕКЦІЙ
ЧАСТИНА 1**

для студентів напряму 6.050202
"Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
денної та заочної форм навчання

Всі цитати, цифровий та фактичний
матеріал, бібліографічні відомості
перевірені. Написання одиниць
відповідає стандартам

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
інтегрованих автоматизованих систем
управління

Підпис(и) автора(ів) _____

«11» __09__ 2013 р.

Протокол №15
від 21.05.2013 р.

Реєстраційний номер
електронного курсу
лекцій у НМВ
100.24-12.09.2013

Об'єкти автоматизації в галузі. Курс лекцій для студ. напр. 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Частина 1. – К.: НУХТ, 2013. – 136 с.

Рецензент **Ельперін І.В.**, кандидат техн. наук

ЛЕВЧЕНКО О.І., кандидат техн. наук

ГЛУЩЕНКО М.С., кандидат техн. наук

РІШАН О.Й., кандидат техн. наук

ПУПЕНА О.М., кандидат техн. наук

© О.І.Левченко, М.С.Глущенко, 2013

© О.І.Рішан, О.М. Пупена, 2013

© НУХТ, 2013

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАНОВКИ. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ М'ЯСНИХ ВИРОБНИЦТВ.....	6
1.1. Загальні властивості теплових об'єктів	6
1.1.1. Основні властивості об'єктів автоматизації	6
1.1.2. Ємність об'єктів	6
1.1.3. Самовирівнювання	7
1.1.4. Запізнювання	10
1.1.5. Об'єкти з розподіленими параметрами.....	11
1.1.6. Статичні характеристики систем та їх елементів	12
1.1.7. Динамічні характеристики.....	13
1.1.8. Метод диференціальних рівнянь	13
1.1.9. Метод передаточних функцій.....	15
1.1.10. Метод часових характеристик.....	15
1.1.11. Складання математичних моделей теплоенергетичних об'єктів	17
Контрольні запитання	19
1.2. Теплотехнічні процеси та установки як об'єкти автоматизації.....	19
1.2.1. Ділянки регулювання теплових та електричних станцій.....	19
1.2.2. Збурюючі діяння, регульовані параметри та їх взаємозв'язок	21
1.2.3. Регулювання процесу згоряння палива.....	24
1.2.4. Барабанний паровий котел як об'єкт регулювання рівня	30
Контрольні запитання	41
1.3. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ.....	41
1.3.1. Технологічний процес переробки свиней у шкурі	42
1.3.2. Технологічний процес виробництва ковбасного фаршу.....	43
1.3.3. Технологічні процеси термічної обробки м'ясних продуктів	44
Контрольні запитання	50
2. Хлібопекарське виробництво.	50
2.1. Вступ.	50
2.2. Технологія виготовлення хліба: від зерна до хлібини.....	51
2.3. Будова зерна пшениці.	51
2.4. Зберігання зерна.	53
2.5. Переробка зерна в борошно.....	55
2.6. Характеристика борошна при виробництві тіста.	57
2.7. Процес виробництва хліба.	59
2.8. Методи приготування тіста.....	67
2.9. Критерії якості хліба.	70
2.10. Аналіз хлібзавода, як об'єктів автоматизації.....	73
2.11. Особливості автоматизації діляниць хлібозаводу.	75
Контрольні запитання	79
3. Молочне виробництво	80

3.1. Особливості технологічних процесів в галузі молочної промисловості	80
Контрольні запитання	81
3.2. Технологія незбираномолочних продуктів	81
3.2.1. Питні види молока та вершки.....	81
3.2.2. Питне пастеризоване молоко.....	82
3.2.3. Приймання та підготовка сировини	83
3.2.4. Нормалізація молока.....	85
3.2.5. Нормалізація молока.....	85
3.2.6. Гомогенізація.....	91
3.2.7. Пастеризація молока	94
3.2.8. Вершки питні.....	96
3.2.9. Стерилізовані вершки	98
Контрольні запитання	99
3.3. Технологія вершкового масла.....	100
3.3.1. Види масла.....	100
3.3.2. Основні широковживані види масла.....	100
3.3.3. Методи виготовлення масла	101
Контрольні запитання	103
3.4. Технологія продуктів із знежиреного молока.....	103
3.4.1. Низькожирні молочні напої.....	105
3.4.2. Кисломолочні напої на основі знежиреного молока.....	107
3.4.3. Сир кисломолочний нежирний та низькожирний	110
Контрольні запитання	111
4. Спиртове виробництво.....	112
4.1. Загальна технологія виробництва спирту.	112
4.1.1. Технологічна схема	112
4.1.2. Види спирту.....	113
Контрольні запитання	114
4.2. Виробництво бражки з крохмалевмісної речовини.....	114
4.2.1. Загальні принципи.....	114
4.2.2. Зберігання, очищення та подрібнення сировини.....	115
4.2.3. Приготування замісу	115
4.2.4. Розварювання та розрідження замісу (термоферментна обробка ТФО)	115
4.2.5. Оцукрення розрідженого замісу.....	116
4.2.6. Характеристика дріжджів	116
4.2.7. Приготування виробничих дріжджів	116
4.2.8. Зброджування суслу	117
4.2.9. Автоматизоване управління процесами відділення підробітки зерна і приготування замісу.....	117
4.2.10. Автоматизоване управління процесами ділянкою розварювання ..	119
4.2.11. Автоматизоване управління процесами відділення оцукрювання ..	120
4.2.12. Автоматизоване управління процесами відділення бродіння	122
Контрольні запитання	124
4.3. Теоретичні основи ректифікації	124

4.3.1. Склад зрілої бражки	124
4.3.2. Теоретичні основи перегонки та ректифікації.....	125
4.3.3. Ректифікаційні колони	126
Контрольні запитання	130
4.4. Брагоректифікаційні установки спиртових заводів.....	130
4.4.1. Типова триколонна БРУ.....	130
4.4.2. Автоматизоване управління процесами відділення БРУ	132
Контрольні запитання	135
Список рекомендованої літератури.....	135

ВСТУП

Предметом вивчення навчальної дисципліни "Об'єкти автоматизації в галузі" є теплоенергетичні та технологічні процеси харчових виробництв, зокрема: м'ясного, молочного, хлібобулочного, пивоварного, спиртового, цукрового; обладнання харчових виробництв; алгоритми управління технологічними процесами. Мета дисципліни – ознайомлення студентів з технологічними процесами та обладнанням харчових виробництв в контексті об'єкту управління, особливостями побудови систем управління та використання технічних засобів автоматизації в конкретному технологічному процесі.

Дана дисципліна спирається на знання, здобуті студентами при вивченні дисциплін "Теорія автоматичного керування", "Типові процеси і апарати", "Теплотехніка", "Прикладна механіка та основи конструювання" "Електротехніка та електромеханіка".

Даний матеріал призначений для ознайомлення студентів з основами функціонування технологічних процесів, алгоритмами управління та особливостями виконання технічних засобів для хлібобулочного виробництва, виробництва молочної продукції, теплоенергетичних процесів, м'ясного виробництва та виробництва спирту. Отримані в даному курсі знання використовуються при проектуванні, розробці та експлуатації автоматизованих систем управління технологічними процесами харчових виробництв.

1. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАНОВКИ. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ М'ЯСНИХ ВИРОБНИЦТВ.

1.1. Загальні властивості теплових об'єктів

1.1.1. Основні властивості об'єктів автоматизації

Об'єктом автоматичного регулювання називаються агрегат, апарат або їх сукупність, де протікають різні процеси, які потребують і піддаються регулюванню. Типові об'єкти являють собою в більшості випадків різні теплообмінники, наприклад парові котли, регенеративні підігрівники тощо. Об'єкт регулювання є основною ланкою автоматичної системи регулювання (АСР), від якої у багатьох випадках залежить якість автоматичного регулювання.

При всій різноманітності теплових об'єктів і технологічних процесів, що протікають у них, об'єкти мають деякі загальні властивості, основними із яких слід виділити: ємність, самовирівнювання і запізнювання.

1.1.2. Ємність об'єктів

Під ємністю об'єкта розуміють його здатність накопичувати (акумулювати) речовину або енергію. Для гідравлічного об'єкта — це маса або кількість речовини, для теплового - кількість теплової енергії, для об'єкта руху - кількість руху тощо. Ємність утворюється тільки за наявності опорів, які перешкоджають виходу речовини або енергії.

З цієї точки зору об'єкти поділяються на одно- та багатоемнісні. Одноемнісні об'єкти характеризуються наявністю тільки одного опору на виході із об'єкта (рис. 1.1). Вони можуть накопичувати один вид речовини або енергії. Чим більша ємність об'єкта, тим повільніше протікають процеси в АСР і полегшується завдання регуляторів, і навпаки, чим менша ємність, тим швидше змінюються технологічні параметри, що накладає додаткові вимоги до АСР з точки зору її швидкодії.

Як показник ємності об'єктів застосовується коефіцієнт ємності, який визначається кількістю енергії або речовини, що їх необхідно ввести в об'єкт для зміни регульованого параметра на одиницю його виміру. Наприклад, якщо температура в теплообміннику регулюється, коефіцієнт ємності визначається кількістю тепла, яку слід подати в об'єкт зміни температури в ньому на 1°C ; для гідравлічного об'єкта - це кількість рідини, що потрібно подати в об'єкт для зміни рівня на 1 м .

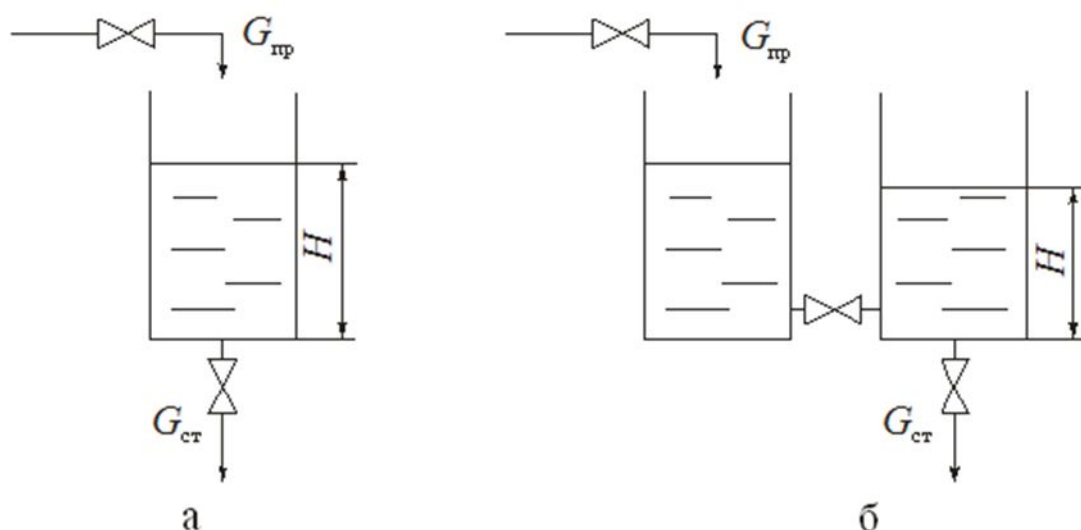


Рис. 1.1. Гідравлічні об'єкти; а— одноемнісний б— двоємнісний

1.1.3. Самовирівнювання

Здатність об'єкта регулювання після нанесення збурення приводити регульований параметр до нового усталеного значення самостійно, без втручання регулятора, називається самовирівнюванням, або саморегулюванням. Кількісно самовирівнювання об'єкта визначається коефіцієнтом самовирівнювання ρ , який дорівнює відношенню зміни вхідної величини Δx до відповідної зміни вихідної величини Δy , тобто ρ — величина зворотна коефіцієнту передачі k_0 об'єкта:

$$\rho = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{1}{k_0}$$

Чим більше значення має ρ , тим менше відхилення нового усталеного значення регульованого параметра від його попередньої величини. Самовирівнювання в деякій мірі сприяє стабілізації регульованого параметра і, таким чином, полегшує задачу регулювання.

Розглянемо як приклад гідравлічний об'єкт із вільним припливом G_{np} і вільним стіканням рідини $G_{ст}$ (рис. 1.2,а). Нехай до моменту τ_0 був баланс між припливом x_0 ($G_{np,0}$) і стіканням, рівень відповідав усталеному значенню y_0 (H_0). Якщо збільшити приплив на Δx (ΔG_{np}), то баланс порушиться і рівень y (H) почне підвищуватися. Однак внаслідок збільшення гідростатичного тиску одночасно почне зростати і стікання рідини $G_{ст}$. Оскільки G_{np} більше не змінюється, а $G_{ст}$ зростає, то поступово різниця $\Delta G = G_{np} - G_{ст}$ зменшується і через деякий час у системі наступить баланс, тобто при рівні

$$H = H_0 + \Delta H.$$

Більшість теплових об'єктів мають властивість самовирівнювання. Такі об'єкти ще називають статичними, або стійкими. Якщо статичний об'єкт одноємнісний, то він, як правило, є аперіодичною ланкою першого порядку і описується рівнянням:

$$T_0 \frac{dy}{d\tau} + \rho \Delta y = k_0 \Delta x, \quad (1.1)$$

де T_0 — стала часу або час розгону об'єкта. Це час, за який вихідна величина зросте до нового усталеного значення при постійній швидкості її зміни (рис. 1.2,б).

Двоємнісні об'єкти описуються диференціальними рівняннями другого порядку.

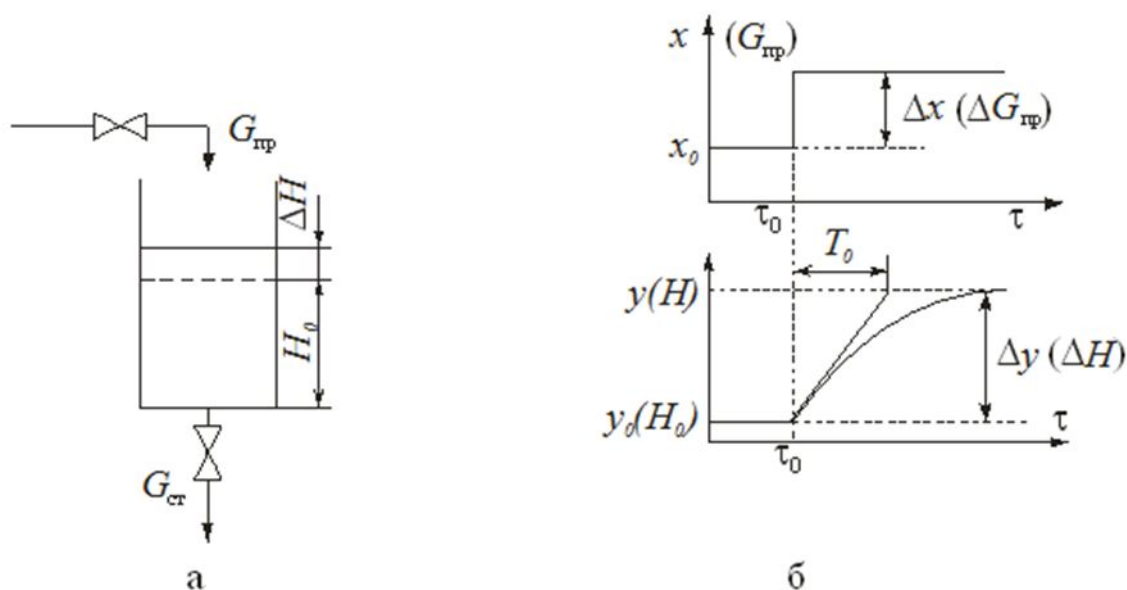


Рис. 1.2. Приклад об'єкта з самовирівнюванням (а) та його крива розгону (б)

Але не всі об'єкти володіють властивістю самовирівнювання. На рис.1.3,(а) показаний гідравлічний об'єкт з примусовою відкачкою рідини. Порушення балансу між припливом і стіканням призводить до безперервної зміни рівня, оскільки $G_{ст} = const$. Тільки втручання людини або регулятора може стабілізувати ситуацію. Швидкість зміни рівня пропорційна величині збурення. Такі об'єкти називаються астатичними, або нейтральними. Для них $\rho=0$, а рівняння динаміки має вигляд $T_0 \frac{dy}{d\tau} = k_0 \Delta x$, тобто об'єкт являє собою інтегруючу ланку.

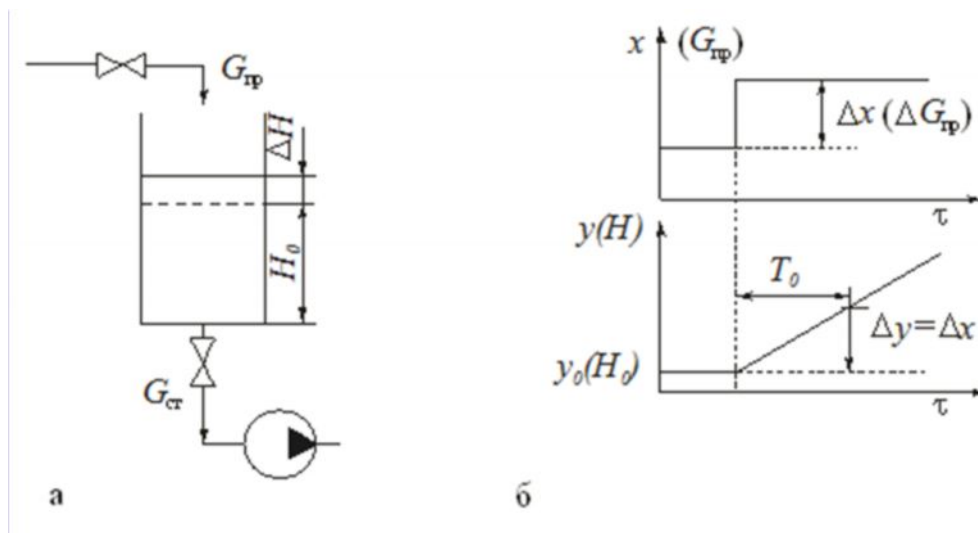


Рис. 1.3. Приклад об'єкта з самовирівнюванням (а) та його крива розгону (б)

Для астатичного об'єкта величина T_0 має такий фізичний зміст: за цей час відносна зміна параметра $\Delta y = \frac{\Delta H}{H_0}$ відповідає відносній зміні збурення $\Delta x = \frac{\Delta G_{np}}{\Delta G_{np,0}}$ (рис.1.3, б). Рідко зустрічаються так звані нестійкі об'єкти, які мають $p < 0$.

Їх рівняння динаміки має вигляд: $T_0 \frac{dy}{d\tau} - c \Delta y = k_0 \Delta x$. Для таких об'єктів при стрибкоподібному збуренні Δx вихідна величина y змінюється із зростаючою в часі швидкістю (рис.1.4). Прикладом такого об'єкта може бути кульовий барабаний млин як об'єкт регулювання рівня вугільного пилу, якщо коефіцієнт заповнення вище критичного значення (так званий "завал" млина).

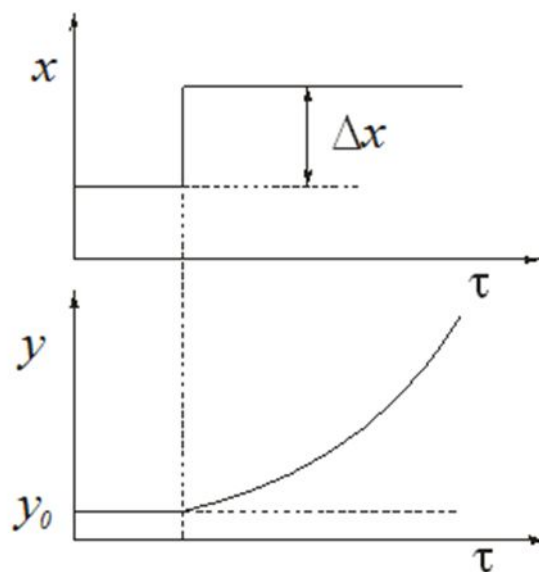


Рис. 1.4. Крива розгону нестійкого об'єкта

1.1.4. Запізнювання

Якщо зміна технологічного параметра починається не одночасно із прикладанням збурення або управляючого діяння, а через деякий час, то таке явище називають запізнюванням процесу в часі.

Розрізняють два види запізнювання: перехідне, або ємнісне і транспортне, або “чисте”.

Перехідне запізнювання властиве багатоемнісним об’єктам. Воно виникає внаслідок проходження потоку речовини або енергії через опори, які розділяють окремі ємності багатоемнісного об’єкта.

Наприклад, у кожухотрубному теплообміннику величина перехідного запізнювання залежить в основному від загального коефіцієнта теплопередачі, тобто від матеріалу і розмірів трубок, від фізичних властивостей рухомих середовищ, що приймають участь у теплообміні, від забруднення поверхонь теплообмінника і т.д. Тому, порівняно з одноємнісними об’єктами, зміна параметрів у таких об’єктах відстає в часі на значення перехідної ємності τ_n (рис.1.5). Залежно від числа ємностей об’єкта величина τ_n змінюється.

Транспортне запізнювання виникає в зв’язку з тим, що між початком переміщення регулюючого органу і початком зміни параметра, яке викликане цим переміщенням, проходить деякий проміжок часу τ_T . Цей час необхідний для того, щоб потік речовини або енергії, що має швидкість v , пройшов відстань ℓ від місця нанесення збурення, тобто місця установки регулюючого

органу, до об’єкта регулювання $\tau_T = \frac{\ell}{v}$.

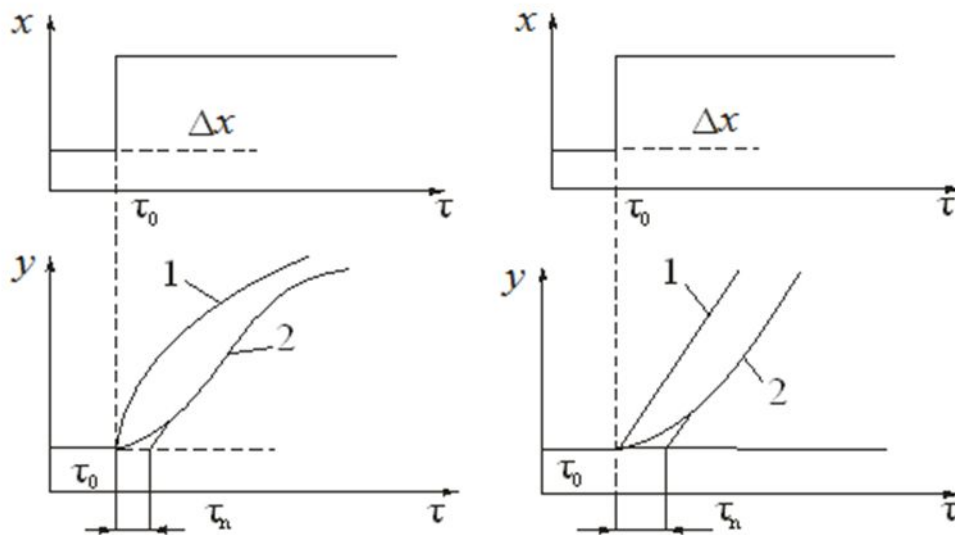


Рис. 1.5. Криві розгону об’єктів: а— статичного; б— астатичного; 1— одноємнісного; 2— багатоемнісного

Чисте запізнювання зміщує в часі реакцію на виході об’єкта порівняно з вхідним діянням на значення τ_T , але не змінює ні величину, ні форму цього діяння (рис.1.6). Потрібно прагнути до зменшення чистого запізнювання шляхом установки регулювальних органів на мінімально можливій відстані від

об'єкта. Запізнювання $\tau_3 = \tau_T + \tau_n$ погіршує умови роботи регулятора і знижує показники якості процесу регулювання.

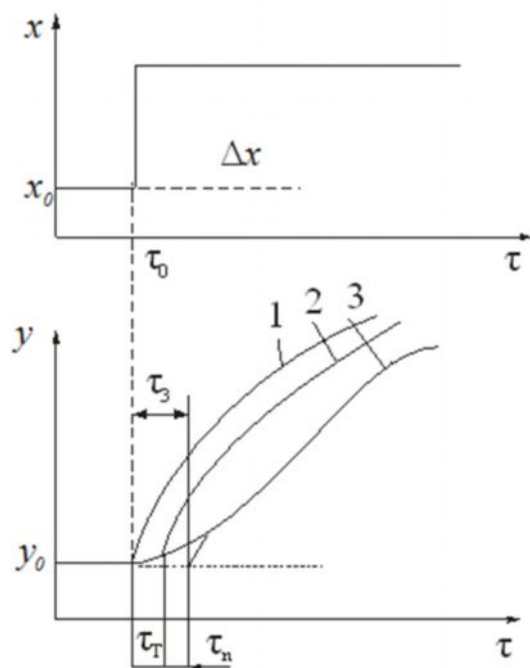


Рис.1.6..Криві розгону об'єктів: 1 – без запізнювання; 2— одноємнісного з τ_T ; 3— багатоемнісного з τ_T

1.1.5. Об'єкти з розподіленими параметрами

Коли об'єкт досить розгалужений у просторі, розглядуваний процес, тобто значення технологічних параметрів, є функцією координат (крім того що вони є функцією часу). Такі елементи АСР стають об'єктами з розподіленими параметрами або розподіленою ємністю. Ці об'єкти можна розглядати як послідовне з'єднання нескінченно великої кількості нескінченно малих ємностей із включеними між ними опорами. Тому крива розгону такого об'єкта відзначається запізнюванням порівняно з аналогічним об'єктом із зосередженою ємністю.

Динаміка об'єктів з розподіленими параметрами описується диференціальними рівняннями в частинних похідних, аргументами яких є час і геометричні координати. Оскільки складання рівнянь високих порядків у більшості випадків викликає суттєві труднощі із за складності точного визначення коефіцієнтів, то на практиці об'єкти з розподіленими параметрами звичайно замінюють їх наближеною моделлю у вигляді об'єкта із зосередженими параметрами, який подається як дві послідовно з'єднані ланки: аперіодична першого порядку та чистого запізнення (рис. 1.7). Динамічні характеристики такого об'єкта показано на рис.1.8.

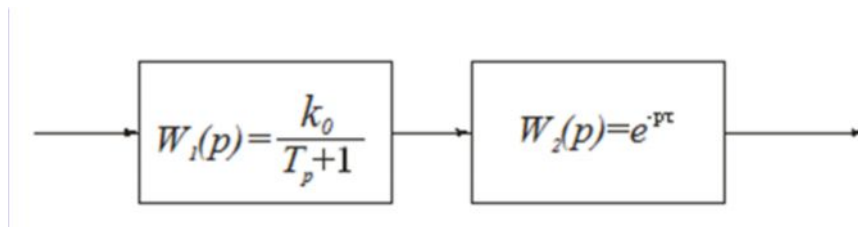


Рис.1.7. Замінююча структурна схема об'єкта з розподіленими параметрами

До об'єктів з розподіленими параметрами можна віднести теплофікаційні трубопроводи, пароперегрівники парового котла та інші теплообмінники як об'єкти регулювання температури. Всі теплові потоки, що вводяться в такі об'єкти, надходять до нескінченної множини точок, кожна з яких має свої властивості: теплоємність, температуру, тепловий опір тощо.

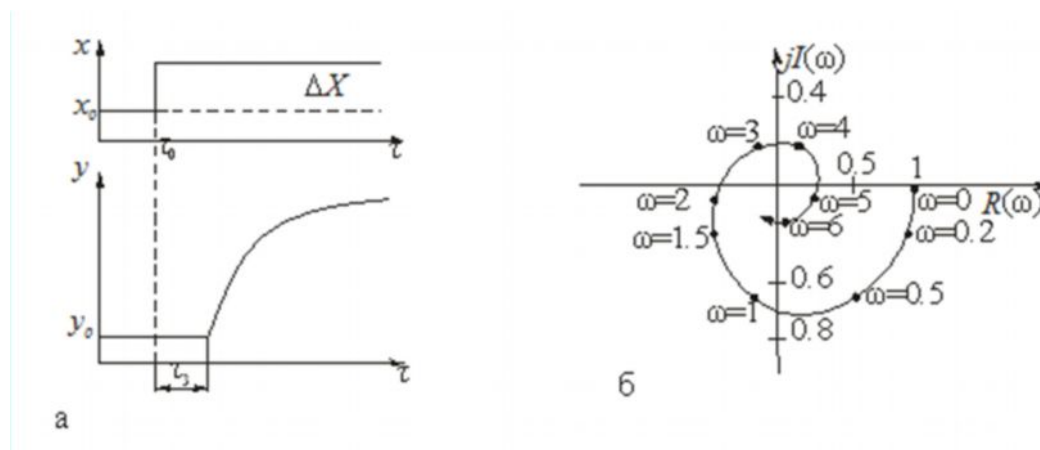


Рис. 1.8. Динамічні характеристики статичного об'єкта першого порядку із запізнюванням: а — крива розгону; б — амплітудно-фазова характеристика (АФХ)

1.1.6. Статичні характеристики систем та їх елементів

Статичною характеристикою системи чи її елемента називається залежність між вихідною y і вхідною x величинами в період усталеного режиму роботи, тобто тоді, коли ні регульована величина, ні регулюючі чи збурюючі діяння не змінюються в часі: $y=f(x)$.

Особливістю статичної характеристики, незважаючи на форму її подання (рівняння, таблиця чи графік), є відсутність такого важливого параметра як час.

Прикладом статичної характеристики може бути залежність температури в теплообміннику від витрати теплоносія (пари, гарячої води тощо) при відсутності збурень.

Статичні характеристики бувають лінійними, лінійними з насиченням, умовно-лінійними в деяких межах, з гістерезисом, із зоною нечутливості, релейні, нелінійні і т.д. У більшості випадків реальні системи мають лінійну характеристику з насиченням. Але при малих збурюючих діяннях (10...15 % максимально можливих) і відносно невеликих підсиленнях регульованого параметра такі системи можуть вважатися лінійними (рис. 1.9).

Лінійна статична характеристика оцінюється кутом α нахилу до осі абсцис. Відношення приросту вихідної величини Δy до приросту вхідної величини Δx

визначається як тангенс кута нахилу α :

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

де k — коефіцієнт підсилення (передачі) системи або елемента, має розмірність: процент зміни регульованої величини / процент зміни збурення.

Якщо відхилення статичної характеристики від лінійної незначні, її вважають умовно лінійною поблизу робочої точки. Процес заміни нелінійної характеристики лінійною називається лінеаризацією. Для цього застосовується один із відомих методів лінеаризації, наприклад, дотичної, сікучої, усереднення, кусково-лінійної апроксимації та ін.

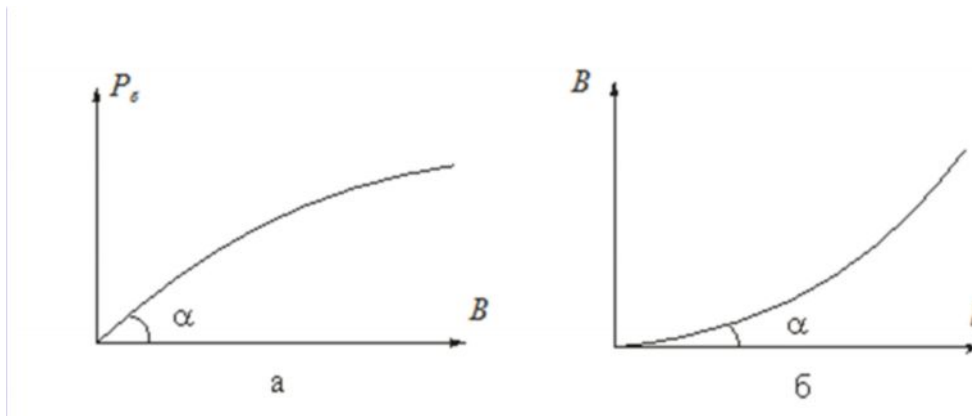


Рис. 1.9. Приклади статичних характеристик: а — графік залежності тиску пари $P_{\text{с}}$ від подачі палива B в топку парового котла; б — графік залежності витрати палива B через клапан від ходу його штока (витратна характеристика клапана)

Для лінійних та лінеаризованих систем є справедливим принцип суперпозиції, відповідно до якого реакція об'єкта на суму вхідних діянь дорівнює сумі реакцій об'єкта на кожне із вхідних діянь. Застосування принципу суперпозиції суттєво спрощує аналіз та розрахунок лінійних систем, оскільки дозволяє розраховувати їх із припущення, що на вході об'єкта або системи є тільки одне вхідне діяння, еквівалентне дії кількох збурень, а на виході — реакція тільки на це одне вхідне діяння, еквівалентна сумі вихідних реакцій на кожне діюче вхідне збурення.

1.1.7. Динамічні характеристики

Динамічною характеристикою називають функціональну залежність вихідної величини в період перехідного процесу від одного усталеного режиму роботи до іншого. При цьому як вхідна, так і вихідна величини є функціями часу.

Динамічні характеристики можуть бути подані за допомогою: 1) диференціальних рівнянь; 2) передаточних функцій; 3) часових характеристик; 4) частотних характеристик.

1.1.8. Метод диференціальних рівнянь

Цей метод доцільно застосовувати на стадії проектування АСР, коли фізичного об'єкта ще не існує і немає можливості одержати його експериментальну характеристику або коли об'єкт за специфікою роботи не допускає відчутних зовнішніх збурень. Слід пам'ятати що будь-яке фізичне явище незмірно багатше за його математичне відображення, яке завжди обмежене. Для практичних цілей дуже важливо виділити із загальної сукупності явищ ту частку, що характеризує основні риси поведінки АСР без захаращування їх другорядними факторами, які ускладнюють дослідження фізичного процесу.

Якщо описувати динамічні властивості системи або її елемента, диференціальне рівняння містить у лівій частині значення вихідної величини і її похідної, в правій — вхідну величину і її похідні, а в деяких випадках — інтеграли від вхідної величини в часі. Взагалі рівняння системи має типовий вигляд:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{d\tau^2} + T_1 \frac{dy}{d\tau} + y = k \left(\tau_3 \frac{dx}{d\tau} + x \right) + \frac{1}{T_0} \int x d\tau. \quad (1.2)$$

Рівняння (1.2) приблизно описує динамічні властивості системи або окремої її частини. При цьому в кожному конкретному випадку як права, так і ліва частини рівняння можуть містити різні члени типового рівняння (1.2). Але обов'язково наявність у лівій частині рівняння вихідної величини або її похідної, а в правій - вхідної величини, її похідної або інтеграла від вхідної величини.

Постійні коефіцієнти (1.2) T_2, T_1, T_0, τ_3 мають розмірність часу; k — коефіцієнт передачі системи або її частини.

Із (1.2) можна одержати рівняння статички, прирівнявши в ньому всі похідні нулю.

Оскільки розв'язання диференціального рівняння часто є досить трудомісткою задачею, то для спрощення запису рівняння його подають в операторній формі. У цьому випадку замість диференціала застосовують символ p , де p — алгебраїчна величина. Таким чином здійснюється перехід від

диференціального рівняння до алгебраїчного, де $\frac{d}{d\tau} \equiv p$; $\frac{d^2}{d\tau^2} \equiv p^2$;

$$\int \dots d\tau \equiv \frac{1}{p}; \quad \iint \dots d\tau = \frac{1}{p^2}.$$

Використовуючи ці співвідношення, одержують такий запис типового рівняння (1.2):

$$T_2^2 p^2 Y(p) + T_1 p Y(p) = k [\tau_3 p X(p) + X(p)] + \frac{1}{p T_0} X(p) \quad (1.3)$$

Подібне перетворення диференціального рівняння в алгебраїчне називається перетворенням Лапласа, а символом p — оператором Лапласа. Функції $y(\tau)$ та $x(\tau)$, які піддаються перетворенню Лапласа, називають

оригіналом , а функція комплексного змінного p , яка одержується в результаті цього перетворення – зображенням $Y(p)$ та $X(p)$ відповідно.

З оператором p можна проводити різні алгебраїчні дії : множення , ділення, винесення за дужки тощо. Розв’язування (1.3) зводиться до пошуку величини $X(p)$ як зображення за Лапасом.

Якщо система має кілька вхідних та вихідних величин, то опис її здійснюється за допомогою системи диференціальних рівнянь. Нелінійні системи описуються нелінійними диференціальними рівняннями або рівняннями в частинних похідних.

1.1.9. Метод передаточних функцій.

Передаточною функцією називається динамічний коефіцієнт передачі системи або її елемента.

Для одержання передаточної функції використовують перетворення Лапаса. Після проведення алгебраїчних дій з перетвореним рівнянням можна шляхом зворотного перетворення одержати вхідні величини в функції часу. Передаточна функція $W(p)$ являє собою відношення вихідної і вхідної величин, перетворених за Лапасом:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k(\tau_3 p + 1) + \frac{1}{pT_0}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}. \quad (1.4)$$

Враховуючи в типовому рівнянні (1.4) передаточної функції ті чи інші члени операторних поліномів, можна одержати передаточні функції для різних АСР та її елементів. Наприклад, для лінійного елемента який описується диференціальним рівнянням першого порядку:

$$\text{в загальному вигляді} \quad a_1 \frac{dy}{d\tau} + a_0 y = b_0 x$$

$$\text{в типовому вигляді} \quad T_1 \frac{dy}{d\tau} + y = kx;$$

$$\text{в операторній формі} \quad (T_1 p + 1)Y(p) = kX(p).$$

$$\text{передаточна функція} \quad W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k}{T_1 p + 1}.$$

На відміну від коефіцієнта передачі k , який установлює зв'язок між вихідною y і вхідною x величинами в усталеному режимі, передаточна функція $W(p)$ відображає зв'язок між ними в загальному випадку, в тому числі і для перехідних режимів.

1.1.10. Метод часових характеристик.

Методи диференціальних рівнянь і передаточних функцій універсальні й мають широке розповсюдження. Однак користування ними в процесі дослідження реальних систем обмежене насамперед тому, що в багатьох випадках скласти достовірне вихідне диференціальне рівняння досить складно (наприклад, для котлів різних типів, теплообмінників тощо). Крім того, реальні

промислові АСР, як правило, можуть бути описані наближено навіть рівняннями високих порядків або системою рівнянь, вирішення яких потребує громіздких розрахунків і не завжди можливе.

Водночас для реальних систем у більшості випадків відносно просто одержати експериментальні динамічні характеристики. Очевидно, що форма перехідного процесу залежить від вигляду збурення. Тому для зручності вивчення та аналізу результатів експерименту доцільно досліджувати реакцію системи на визначені типи збурень. Реакція системи або її елемента на типові збурюючі діяння називається часовою характеристикою. Як типові збурення звичайно застосовують одиничний імпульс та одиничне ступінчасте збурення. За одиницю вхідної величини приймають її номінальне або максимальне значення.

Одиничним імпульсом називають прямокутний імпульс нескінченно великої висоти, тривалістю, що прямує до нуля, і площею, яка дорівнює одиниці (рис. 1.10,а). Для такого імпульсу математичне визначення має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{при } \tau < 0 \quad x &= 0, \\ \text{при } \tau > 0 \quad x &= 0, \\ \text{при } \tau = 0 \quad x &= \infty, \quad \int_0^{\infty} x(\tau) d\tau = 1. \end{aligned}$$

Часова характеристика $y=f(\tau)$ називається імпульсною перехідною або ваговою функцією. З практичного боку одиничний імпульс являє собою математичне або графічне зображення миттєвого удару, який прикладений до системи, наприклад удар молота по кувалді, струм при замиканні накоротко ідеального конденсатора тощо.

Одиничне ступінчасте збурення (рис. 1.10,б) є найбільш поширеним експериментальним методом одержання динамічної характеристики. Це пояснюється такими причинами: по-перше, збурення такої форми найбільш несприятливі для АСР, і якщо вона задовольняє поставлені вимоги в процесі такого діяння, то буде задовільно працювати і при збуреннях іншої форми; по-друге, при такій формі збурення простіше шукати рішення диференціальних рівнянь, які описують властивості АСР.

Залежність зміни вихідної величини від часу $y(\tau)$ в процесі прикладення до входу АСР або її елемента одноразового ступінчастого збурення називається кривою розгону, або перехідною характеристикою. Методика одержання кривої розгону така:

1. Усталений режим процесу підтримують 2...2,5 хв. при повільно текучих процесах і не менше 0,3...0,5 хв. — при швидкоплинних процесах.
2. Наносять збурення на боці енергоносія або на боці продукту (залежно від прийнятого способу регулювання). Збурення наноситься миттєво одноразовою перестановкою регулюючого органу в межах 10-20 % максимального значення вхідної величини (дивляться за шкалою переміщення регулюючого органу).
3. В момент нанесення збурення включають секундомір і через рівні

- проміжки часу вимірюють значення регульованого параметра.
4. За результатами вимірів будують графік перехідної характеристики.

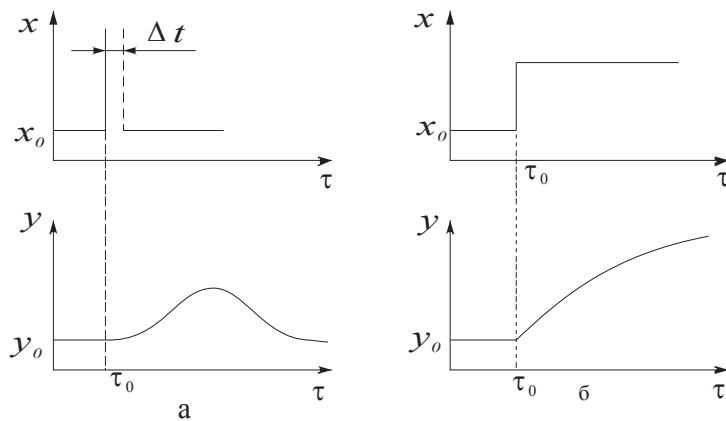


Рис.1.10. Часові характеристики: а – імпульсна; б – крива розгону

1.1.11. Складання математичних моделей теплоенергетичних об'єктів

Більшість теплоенергетичних об'єктів - це складні динамічні системи з розподіленими параметрами. Аналітичне визначення статичних та динамічних характеристик таких систем, наприклад, у вигляді диференціальних рівнянь зв'язане з великим об'ємом розрахункових та дослідницьких робіт. Один із методів спрощення розрахунків полягає в поданні складного об'єкта з розподіленими параметрами у вигляді послідовного або паралельного з'єднання ділянок із зосередженими параметрами. Останні повинні характеризуватися єдністю конструкції або одноманітністю протікаючих у них фізичних та технологічних процесів, а також порівняно простим математичним описом.

Розглянемо, наприклад, процес зміни тиску перегрітої пари на виході із пароперегрівника. Прослідкуємо проходження сигналу за каналом "паливо В— тиск перегрітої пари $P_{n.n}$ " (рис.1.11).

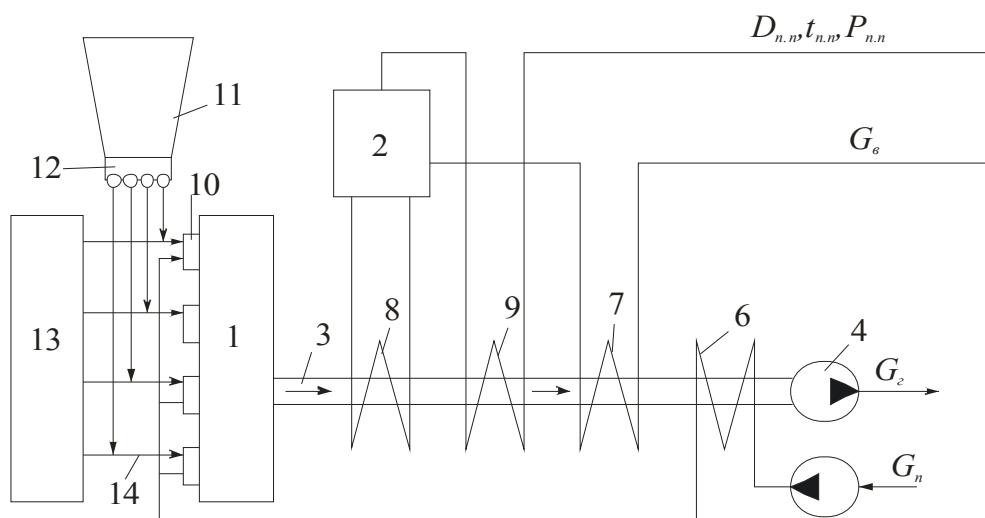


Рис. 1.11. Принципова технологічна схема котла:

- 1— топка; 2— барабан; 3— газохід; 4— димосос; 5— вентилятор;
 6— повітропідігрівник; 7— економайзер; 8— циркуляційний контур;
 9— пароперегрівник; 10— пальники; 11— бункер пилу; 12— живильник пилу;
 13— короб первинного повітря; 14— пилопроводи.

Паровий котел як складну динамічну систему доцільно розділити на ряд простіших ділянок (рис. 1.12).

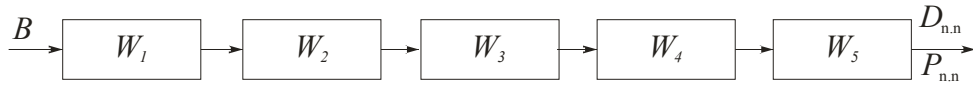


Рис. 1.12. Структурна схема парового котла за каналом діяння
 "паливо - тиск перегрітої пари"

Перша ділянка — транспортування пилоподібного палива живильниками пилу із бункерів по пилопроводах до пальників. Динамічні властивості цієї ділянки дозволяють наближено вважати її ланкою транспортного запізнювання з передаточною функцією $W_1(p) = e^{-p\tau_3}$, у якій величина запізнювання τ_3 залежить від швидкості руху пилоповітряної суміші та довжини пилопроводу (на сучасних котлах $\tau_3 = 0,5 \dots 2,5$ с).

Наступна ділянка — паливна камера. Тут проходять процеси подачі палива у топку, його запалювання та згоряння. Процес тепловиділення, який супроводжує горіння, наближено описується рівнянням аперіодичної ланки першого порядку з передаточною функцією: $W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$, де значення сталої часу T_2 коливаються від кількох секунд до кількох десятків секунд залежно від типу парового котла, виду палива та інших факторів.

Теплова енергія, що виділилася, сприймається радіаційними та конвективними поверхнями нагріву парового котла. Динаміка ділянки теплопередачі наближено може бути описана рівнянням аперіодичної ланки першого (або вищого) порядку з передаточною функцією: $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}$.

Далі іде теплосприймаюча ділянка, куди входять барабан, опускні труби, екранні поверхні, де відбувається передача тепла через стінки труб воді, нагрівання її до кипіння, пароутворення і перехід пари із екранних труб у барабан. Передаточна функція цієї ділянки також може бути подана у вигляді аперіодичної ланки першого порядку: $W_4(p) = \frac{k_4}{T_4 p + 1}$.

Завершує технологічний ланцюг виробництва пари пароперегрівник, на виході якого відбувається зміна тиску перегрітої пари $P_{n.n}$. Передаточна функція, як і в попередніх випадках, являє собою аперіодичну ланку першого порядку: $W_5(p) = \frac{k_5}{T_5 p + 1}$.

Результуюча передаточна функція парового котла за каналом $B - Q_T - P_6 - P_{n.n}$ визначається перемноженням передаточних функцій послідовно включених

ланок: $W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)W_5(p)$

Розглянутий спосіб одержання передаточної функції складного об'єкта за допомогою з'єднання простих ланок, передаточні функції яких відомі або легко визначаються, називається структурним моделюванням.

Складання диференціальних рівнянь і структурне моделювання передбачає застосування аналітичних методів визначення динамічних властивостей об'єктів. Однак ці методи не завжди можуть забезпечити досить точне відтворення фактичної динаміки об'єкта. Тому останні часто визначаються експериментально, а за відомими динамічними характеристиками складається математична модель об'єкта.

Найчастіше математична модель теплоенергетичного об'єкта являє собою послідовне з'єднання ланки чистого запізнювання з аперіодичною (інерційною) ланкою першого порядку (див. рис. 1.8) або інтегруючою ланкою з відповідними передаточними функціями: $W(p) = \frac{ke^{-p\tau_3}}{(1 + T_p p)}$; $W(p) = \frac{ke^{-p\tau_3}}{p}$.

Контрольні запитання

1. Що називається об'єктом регулювання ?
2. Ємність об'єктів; одно - та багато ємнісні об'єкти. Коефіцієнт ємності.
3. Поняття самовирівнювання об'єктів. Статичні об'єкти.
4. Астатичні об'єкти. Їх динамічні характеристики.
5. Запізнювання в об'єктах, його різновиди .
6. Об'єкти з розподіленими параметрами, їх особливості.
7. У чому полягає методика одержання математичної моделі складного об'єкта ?
8. Статичні характеристики АСР, методика їх одержання.
9. Динамічні характеристики АСР, їх різновиди та методики одержання.

1.2. Теплотехнічні процеси та установки як об'єкти автоматизації

1.2.1. Ділянки регулювання теплових та електричних станцій

Безпечна і економічна робота більшості енергетичних установок можлива лише за умови підтримання в необхідних межах або зміні за заданим законом основних параметрів процесу. Це завдання вирішується ручним або автоматичним керуванням. Однак у сучасній теплоенергетиці, яка характеризується безперервним зростанням енергетичних потужностей установок та інтенсифікацією процесів (збільшенням теплових навантажень, підвищенням тиску і температури пари тощо), домінуючу роль відіграє автоматичне керування процесами, в тому числі автоматичне регулювання. Основними об'єктами автоматичного керування в теплоенергетичному господарстві підприємств є котельні агрегати, турбінні установки, допоміжне обладнання теплових електростанцій (ТЕС) (пилоприготування, паливоподача, деаератори, мережеві підігрівачі і т.д.), а також всілякі тепловикористовуючі установки: випарні, сушильні, ректифікаційні і теплообмінники у виробничих

цехах.

При цьому найскладнішим за завданням керування і кількістю автоматичних пристроїв, що використовуються у виробничому процесі, є ТЕС. Складність процесів і обладнання ТЕС змушують у вирішенні питань автоматизації розчленити теплову схему на окремі ділянки. До основних ділянок ТЕС відносяться котельна, турбінна, підготовки живильної води, електрична. Питання автоматизації для цих ділянок вирішується самостійно, хоч вони і зв'язані між собою. Є ще допоміжні загальностанційні ділянки: паливоподача, насосні станції, хімводоочищення, редуційно-охолоджувальні установки, які підготовляють пару для споживачів, підгрівні установки води. Ці ділянки автоматизуються за своїми процесами і характеристиками.

Щоб з'ясувати значення теплової автоматики в роботі ТЕС, розглянемо принципову теплову схему станції (рис.1.13). У топку 1 котла за допомогою паливопідготовчих пристроїв 2 додається паливо B (кам'яновугільний пил, горючий газ, мазут або їх суміш). Вентилятором 3 в топку нагнітається повітря G_n , а димососом 4 викидаються в атмосферу продукти згоряння – димові гази G_z . Барабан парового котла 5 постачається живильною водою G_e від насоса 6. А для обмеження вмісту солей у котловій воді C здійснюється продувка, яка передбачає спуск із барабана котла деякої частини котлової води G_{np} . Потрібна витрата палива, продуктивність вентиляторів, димососів і живильних насосів установлюється автоматично або дистанційно залежно від паропроductивності котлоагрегату $D_{n.n}$ і тиску перегрітої пари $P_{n.n}$. Насичена водяна пара D_6 , вироблена у барабані котла, перегрівається до потрібної температури в пароперегрівнику 7; при цьому температура перегріву $t_{n.n}$ підтримується на заданому значенні автоматичним регулятором. Далі перегріта пара поступає в проточну частину турбіни 8, де теплова енергія теплоносія перетворюється в механічну енергію обертання ротора турбіни та генератора 9. Для забезпечення постійності напруги і частоти виробленої електроенергії застосовуються спеціальні автоматичні системи стабілізації обертання ротора турбіни незалежно від навантаження генератора. Відпрацьована пара з турбіни надходить в конденсатор 10, де вона охолоджується і конденсується на поверхні трубної системи, по якій циркулює охолоджувальна вода $G_{х.в}$. Рівень конденсату в конденсаторі має підтримуватися постійним незалежно від кількості пари, що в ньому конденсується. До цієї системи підключається також охолоджувач 11 електрогенератора. Далі конденсат турбіни прокачується насосами 12 через систему підігрівників низького тиску 13 і надходить в змішувальний підігрівник – деаератор 14. Тут конденсат змішується з хімічно очищеною водою $G_{o.в}$, яка покриває втрати потоку, і підігрівається до температури насичення (кипіння). При цьому з води видаляється розчинений у ній кисень O_2 .

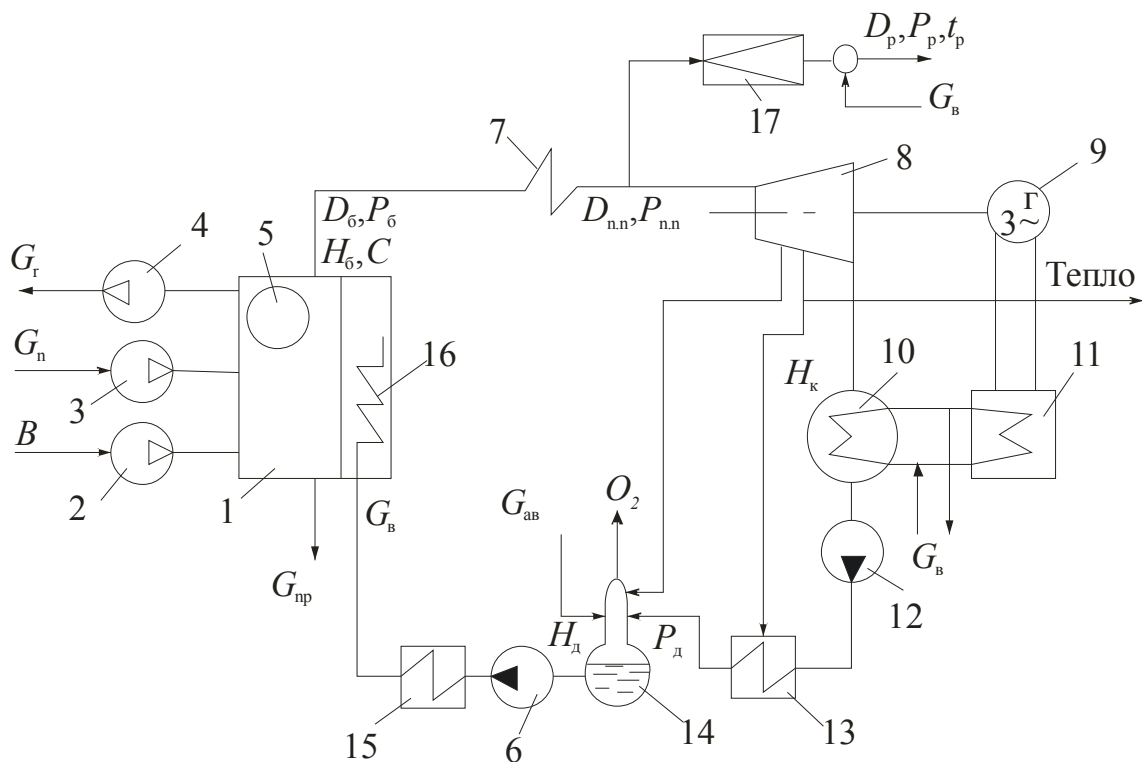


Рис.1.13. Принципова теплова схема ТЕС

Нормальний режим роботи деаератора і змонтованого за ним живильного насосу 6 можливий лише при постійному тиску P_d пари в деаераторній голівці та рівня води в акумуляторному баці H_d . Це забезпечується автоматичними регуляторами тиску і рівня, які діють відповідно на витрату гріючої пари і хімічно очищеної води, що подається в деаератор.

Вода із деаератора перекачується живильними насосами 6 через систему підігрівників високого тиску 15 і надходить в економайзер 16 і випарювальну частину парового котла. Витрата води, тобто рівень H_6 у барабані котла підтримується автоматичним регулятором живлення. На цьому технологічний цикл перетворення теплоти в електричну енергію замикається, і описаний вище процес повторюється.

ТЕС, які виробляють, крім електричної енергії, ще й теплову (ТЕЦ), обладнуються редукційно-охолоджувальними установками (РОУ). Підтримання в заданих межах тиску P_p і температури t_p редукованої пари забезпечується автоматичними регуляторами тиску і температури, які діють відповідно на зміну витрати редукованої пари D_p та охолоджувальної води $G_{x.6}$.

1.2.2. Збурюючі діяння, регульовані параметри та їх взаємозв'язок

Паровий котел як об'єкт керування являє собою складну динамічну систему з багатьма взаємозв'язаними величинами. Основні збурюючі діяння і регульовані параметри процесу показані на спрощеній блок-схемі котлоагрегату (рис. 1.14).

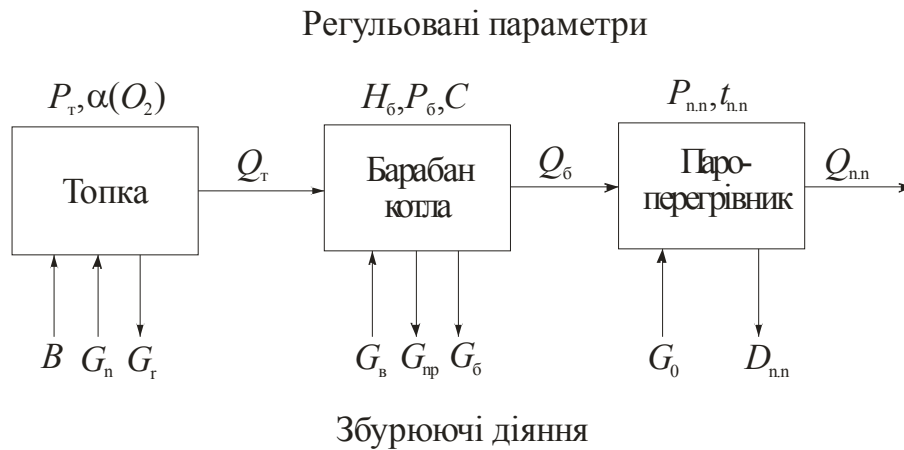


Рис. 1.14. Спрощена блок-схема котлоагрегату

Для топки котла збурюючими діями можуть бути зміна витрати палива B , зміна продуктивності вентиляторів G_n або димососів G_2 . Регульованими параметрами є розрідження у верхній частині топки P_m і коефіцієнт надлишку повітря α або вміст вільного кисню O_2 у димових газах.

У топці виділяється тепло :

$$Q_m = BQ_n^p \eta_k, \quad (2.1)$$

де Q_n^p – нижча теплотворна здатність палива; η_k — ККД котла.

Збуреннями для барабану котла можуть бути: витрата живильної води G_8 , зміна паровідбору D_6 і витрата води на продувну котла G_{np} .

Основні регульовані параметри — це рівень пароводяної суміші у котлі H_6 , тиск у барабані P_6 і вміст солей у котловій воді C . Разом з парою D_6 з барабану котла забирається тепло $Q_6 = D_6(i_{n.n} - i_6)$, де $i_{n.n}$ та i_6 — відповідно ентальпія насиченої пари, яка забирається з барабану, і ентальпія живильної води.

Пароперегрівник сприймає збурення, якщо змінюються паропроductивність котлоагрегату $D_{n.n}$ і витрата G_0 води, яка іде на пароохолодження. Показниками роботи пароперегрівника є тиск $P_{n.n}$ і температура t_{nn} перегрітої пари. Теплота, яка втрачається разом з перегрітою парою:

$$Q_{n.n} = D_{n.n}(i_{n.n} - i_6), \quad (2.2)$$

де $i_{n.n}$ — ентальпія перегрітої пари.

Завдання з керування тепловими процесами ускладнюються тим, що внаслідок взаємної залежності процесів усяке збурення, як правило, викликає зміни кількох регульованих величин (рис. 1.15). Наприклад, нерівномірність витрати палива B викликає зміну тиску в барабані P_6 , що в свою чергу приводить до зміни рівня в барабані H_6 . Одночасно змінюється температура димових газів, а через це й тиск P_{nn} , і температура t_{nn} перегрітої пари.

В таких випадках звичайно вважають доцільним застосувати зв'язане регулювання, за яким АСР окремих регульованих параметрів повинні мати взаємні зв'язки підібрані так, щоб вплив роботи кожного регулятора на інші регульовані величини був якнайменшим.

Але така схема досить складна, що призводить до погіршення економічних показників роботи АСР та зниження її надійності. Тому це питання вирішується компромісно.

Деякі регулятори працюють за схемою зв'язаного регулювання (наприклад, регулятори економічності згоряння палива), решта, дія яких на інші регульовані величини невелика, працюють за локальними схемами (наприклад, регулятори температури перегрітої пари).

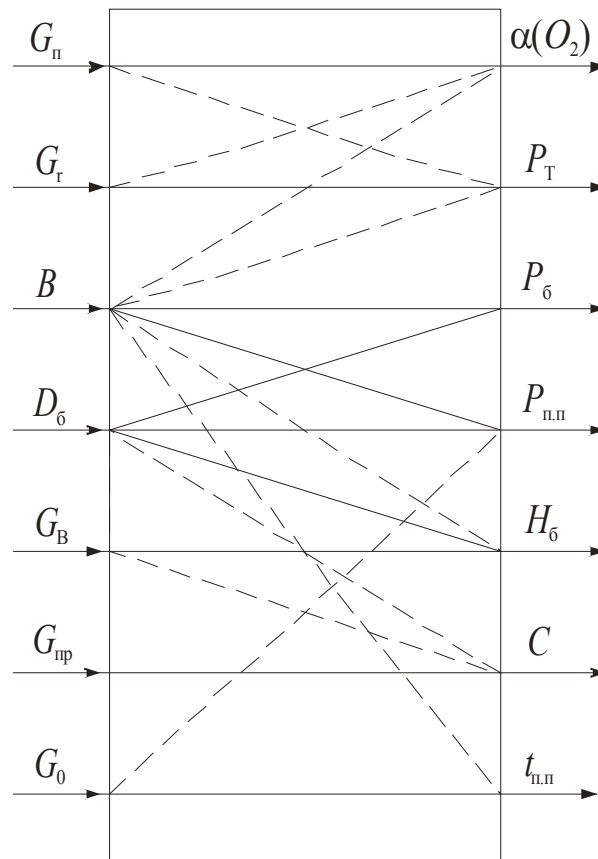


Рис. 1. 15. Схема взаємозв'язків теплотехнічних параметрів у барабанному котлоагрегаті:

- ———— — основні способи стабілізації регульованої величини;
- - - - - — внутрішні та зовнішні збурення щодо даної ділянки регулювання.

Різні конструктивні та експлуатаційні особливості сучасних котлоагрегатів не дають можливості розробити єдину, загальну для всіх випадків, систему їх автоматичного регулювання. Тому, проектуючи АСР котлоагрегата, необхідно в кожному конкретному випадку підходити індивідуально, враховуючи такі фактори: компоновка котла, його потужність і конструктивні параметри, вид палива, особливості допоміжного обладнання, характер навантаження: (базовий чи регулюючий) тощо.

Вибирається варіант АСР, який для заданих умов буде оптимальним як з огляду на вимоги експлуатації, так і з точки зору економіки. Розглянути всі

можливі варіанти практично неможливо, і в цьому немає потреби. Тому далі розглядаються основні, найважливіші питання автоматичного регулювання теплоенергетичних установок у загальному аспекті без вказівок на конкретний тип обладнання та комплексу технічних засобів автоматизації.

З точки зору автоматичного регулювання котлоагрегат можна розглядати як декілька складних об'єктів, кожний з яких являє собою послідовно з'єднані аперіодичні, інтегруючі ланки та ланки з чистим запізнюванням. Такі системи піддаються лінеаризації, тобто їм властивий принцип суперпозиції, і їх динамічні характеристики описуються звичайними диференціальними рівняннями. Процеси розгону основних ділянок котлоагрегатів звичайно проходять плавно, тобто мають неколивальний характер.

1.2.3. Регулювання процесу згоряння палива

Основні завдання.

Режим роботи парових котлів визначається навантаженням турбін та інших споживачів теплової енергії. В кожний момент часу котли повинні генерувати стільки пари, скільки її потрібно для турбін і нормального ведення технологічних процесів основного виробництва. Якщо подача палива недостатня, необхідна для пароутворення тепла енергія покривається частково за рахунок тепла, акумульованого в котловій воді, що викликає зниження температури останньої і тиску пари в барабані котла. Відповідно, передача котлу тепла в кількості, яка перевищує потреби пароутворення, призводить до підвищення температури котлової води і тиску пари.

З другого боку, зміна парового навантаження котла також викликає зміни тиску в барабані, для відновлення якого необхідно коректувати парову продуктивність котла, тобто подачу палива. Для усталеного режиму роботи котла рівняння теплового балансу має вигляд:

$$BQ_n^p \eta_k - D_{n,n} (\dot{\epsilon}_{n,n} - i_v) + G_{np} (i_{np} - i_v), \quad (2.3)$$

де i_{np} — ентальпія продувальної води.

Порушення теплового балансу котла відбувається за рахунок внутрішніх та зовнішніх збурень. До внутрішніх відносяться збурення, пов'язані із зміною характеристик палива або його витрати - ліва частина (2.3). До зовнішніх відносяться збурення, пов'язані із зміною витрати пари і продувальної води - права частина (2.3). Показником невідповідності паропроductивності кількості потрібної пари є зміна тиску пари в якій-небудь точці парового тракту.

Таким чином, АСР палива повинна виконувати наступні функції: компенсувати внутрішні та зовнішні збурення за допомогою одного регулюючого діяння - витрати палива. Тому така АСР, як правило, будується за каскадною схемою із стабілізуючим і коректуючим регуляторами або з подачею на регулятор палива двох сигналів, які характеризують зовнішні та внутрішні збурення.

В цілому АСР палива повинна забезпечити:

- 1) підтримання в регулюючому режимі роботи котла тиску пари перед турбіною або в головній паровій магістралі з відхиленням не більше $\pm 2\%$;

- 2) підтримання в базовому режимі котла витрати пари з відхиленням не більше $\pm 3 \%$;
- 3) діапазон автоматичного регулювання навантаження котлів при спалюванні вугільного пилу 70-100 %, а для газомазутних котлів 50-100 % продуктивності парогенераторів.

Барабанний котел як об'єкт регулювання тиску пари.

Враховуючи, що калорійність палива(газу або мазуту), теплоємність пари і води та ККД котла в процесі експлуатації практично не змінюються, то коливання тиску пари буде в основному залежати від кількості палива, яке подається в топку, і витрати пари. Із зазначеного можна зробити висновок, що зміну тиску пари в барабані котла можна використати як сигнал для регулювання кількості палива і відповідно повітря, які подаються в топку.

Автоматичне регулювання процесу спалювання природного газу або мазуту полегшується тим, що їх витрату можна визначити звичайними способами.

Під час спалювання кам'яновугільного пилу його кількість вимірюється за числом обертів живильників пилу. Такий спосіб недостатньо точний, бо при тому ж числі обертів живильник може мати різну продуктивність залежно від вологості пилу, його запасів у бункері та ін.

Якщо приріст витрати палива і тепловиділення ідуть цілком на пароутворення і нагрівання металу пароутворювальної частини, то швидкість зміни тиску $dp/d\tau$ буде прямо пропорційна теплоті, затраченій на нагрівання пароводяної суміші або різниці між сприйнятою та втраченою з парою кількістю теплоти:

$$K_1 \frac{dp_{\delta}}{d\tau} = Q \mp D_{\delta} (i_{n.n} - i_g) + K_2 G_{\delta}, \quad (2.4)$$

де Q — теплосприймання випарних поверхонь котла; $i_{n.n}$ — ентальпія насиченої пари; K_1, K_2 — постійні коефіцієнти, які залежать від конструктивних параметрів котла і екранних поверхонь, а також теплоємності металу.

В (2.4) знак "-" ставиться, коли збільшується паровідбір D_{δ} . Слід зауважити, що вплив складової $K_2 G_{\delta}$ на швидкість зміни тиску невеликий і (2.4) спрощується до вигляду :

$$K_1 \frac{dp_{\delta}}{d\tau} = Q \mp D_{\delta} (i_{n.n} - i_g). \quad (2.5)$$

Якщо котел працює в регулюючому режимі (D_{δ} — незалежна змінна), то для стабілізації тиску ($dp_{\delta}/d\tau = 0$) регулятор повинен впливати на подачу палива B , змінюючи значення Q , і, таким чином, приводити праву частину (2.5) до нуля. В базовому режимі $Q = \text{const}$.

Розділивши праву та ліву частини (2.5) на різницю ентальпій насиченої пари $i_{n.n}$ та живильної води i_v , одержуємо вираз:

$$\left(\frac{K_i}{(i_{n.n} - i_g)} \right) \frac{dp_{\delta}}{d\tau} = \frac{Q}{i_{n.n} - i_g} \mp D_{\delta}, \quad (2.6)$$

або

$$\frac{Adp_{\delta}}{d\tau} = D_{\kappa} \mp D_{\delta}, \quad (2.7)$$

де $A = \frac{K_1}{(i_{н.н} - i_г)}$ — постійний коефіцієнт, який характеризує масову акумулюючу здатність пароводяної суміші і металу; $D_k = \frac{Q}{i_{н.н} - i_г}$ — теплове навантаження котла, тобто витрата пари, що відповідає даному теплосприймання Q . Таким чином, величина D_k (ще називається сигналом за теплом) характеризує теплосприймання випарювальних поверхонь за одиницю часу, має розмірність витрати пари кг/с. Вимірювання величини D_k провадиться за залежністю

$$D_k = \left(\frac{Adp_г}{d\tau} \right) \mp D_г. \quad (2.8)$$

Виходячи з(2.8), котел як об'єкт регулювання тиску пари є астатичною ланкою, тобто не має самовирівнювання(рис. 1.16).

Перед тим як знімати криву розгону за тиском пари при зовнішньому збуренні $D_г$, потрібно стабілізувати витрати палива B , повітря G_n в топку котла, живильної води в барабан $G_г$ і розрідження в топці P_m . Перед зняттям тієї самої характеристики при внутрішньому збуренні B потрібно стабілізувати паровідбір $D_г$, витрату повітря G_n , води $G_г$ і розрідження в топці P_m .

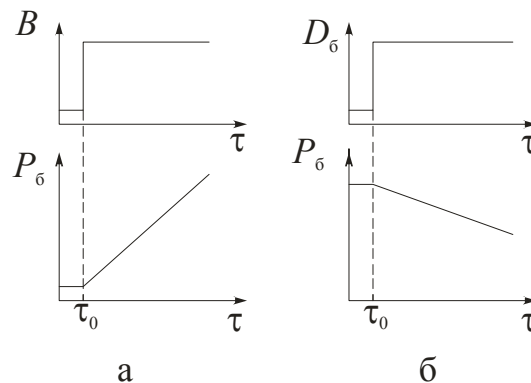


Рис.1.16. Теоретичні криві розгону за тиском пари в барабані котла $P_г$ при збуреннях:

а— витратою палива B і б— паровідбором $D_г$.

Із наведених на рис.1.16 кривих розгону видно, що зміна теплотехнічних параметрів процесу як при зовнішніх, так і внутрішніх збуреннях починається з деяким запізнюванням τ_3 . Це запізнювання характеризує вплив інерційності топки, виду палива і стану поверхонь нагріву на динамічні властивості котла. Кожний із котлів, який працює на загальну парову магістраль, володіє властивістю самовирівнювання. Чим більше котлів працює паралельно, тим менший вплив мають внутрішні збурення. Зовнішні збурення наноситься, як правило, регулюючим клапаном турбіни, змінюючи при цьому паровідбір. Потрібну додаткову кількість пари ΔD_m одержують тільки завдяки акумулюючій здатності котла, тобто додатковому випаровуванню частини води

за рахунок енергії палива. За рахунок тепла, заакумульованого у воді і в металі котла якщо знижується тиск P_{ϕ} , знижується також температура кипіння і теплота пароутворення, а звільнювана при цьому теплова енергія дає додаткове пароутворення.

При зовнішньому збуренні протилежного знака ($\Delta D_{nn} < 0$) тиск у барабані зростатиме; це приведе до підвищення температури кипіння і до акумуляції надлишку теплової енергії у воді і металі котла.

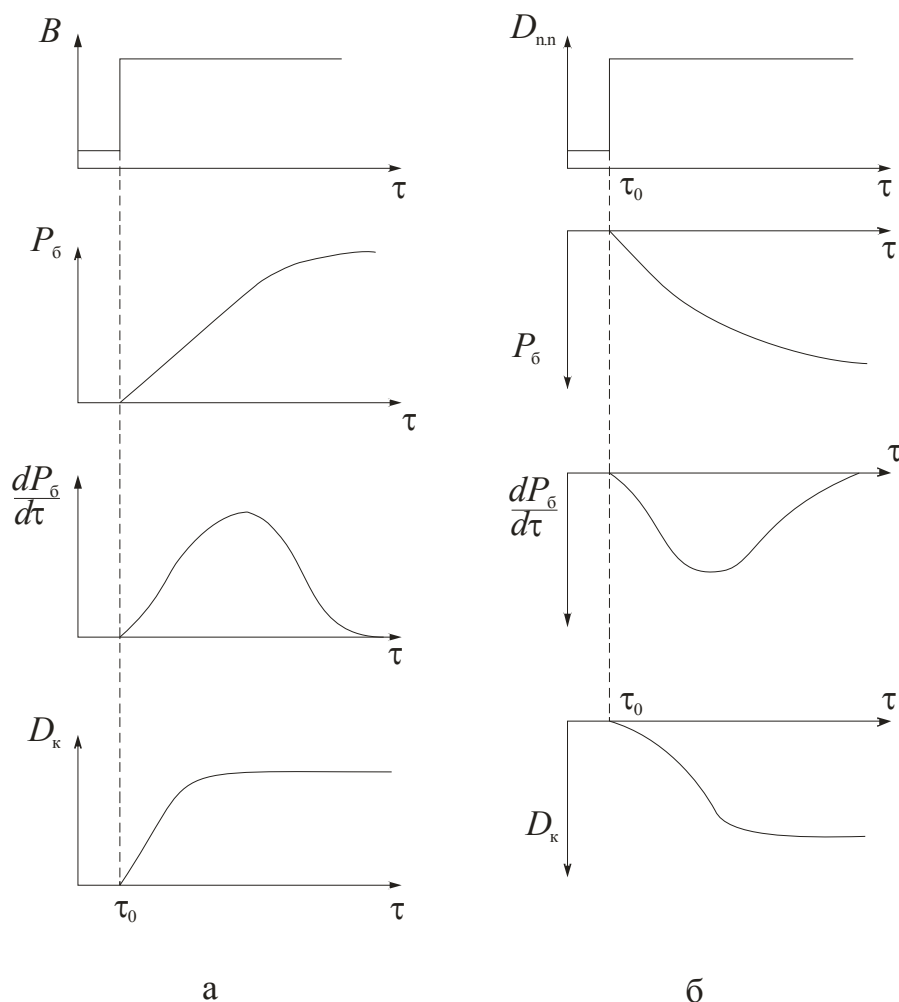


Рис. 1.17. Криві розгону за тиском P_{ϕ} , швидкості його зміни $dp_{\phi}/d\tau$ та тепловому навантаженню D_k при збуреннях; а- внутрішньому (паливом B) і б— зовнішньому (паровідбором $D_{n.n}$)

На зовнішні збурення паралельно працюючі котли реагують по різному. Чим менша інерційність котла, тим він ефективніше реагує, тобто більше відхилення тиску пари у цього агрегата. Коли розгонні характеристики котлів ідентичні, вони реагують на зовнішні відхилення одночасно і однаково. За знятими розгонними характеристиками котла легко визначити основні динамічні властивості об'єкта : коефіцієнт передачі k_0 , час розгону T_0 та запізнювання τ_0 . Враховуючи вимоги до якості регулювання і користуючись відповідною методикою роблять вибір закону регулювання і визначають настройки регулятора.

Автоматичне регулювання економічності процесу горіння

Економічність роботи парового котла оцінюється за його ККД η_k , який дорівнює відношенню корисної теплоти, затраченої на генерування і перегрів пари до затраченого тепла, яке могло б бути отримане в процесі спалювання всього палива. Без врахування тепла, яке вноситься в топку з повітрям, і втрат на продувку $\eta_k = \frac{D_{n.n}(i_{n.n} - i_g)}{BQ_n^p}$.

Завдання АСР економічності полягає в підтриманні максимального ККД котла, якщо зводити до мінімуму втрати тепла, що супроводжують процес згоряння палива і передачу тепла воді та парі. Регулювання безпосередньо за ККД або за сумарною оцінкою втрат тепла не знайшло поки що широкого вжитку через відсутність надійних і точних методів та засобів їх безперервного виміру.

Одним з найбільш представницьких побічних методів оцінки економічності процесу згоряння палива є аналіз складу газів, які виходять з паливної камери. Відомо, що для повного згоряння палива необхідно подати визначений об'єм повітря, кількість якого залежить від виду і сорту палива та його характеристик. Звичайно в топку подається дещо більше повітря, ніж його потрібно для повного згоряння палива. Відношення кількості повітря G_n , що подається в топку, до теоретично необхідної $G_{n.m}$ для повного згоряння палива, називається коефіцієнтом надлишку повітря:

$$\alpha = G_n / G_{n.m}$$

Для газомазутних котлів оптимальний коефіцієнт $\alpha \approx 1,02 \dots 1,05$, для антрацита і пісного вугілля $\alpha \approx 1,25$, для бурого вугілля $\alpha \approx 1,20$. Оптимальний коефіцієнт α_{opt} , який звичайно залежить ще й від навантаження котла, вказується заводом-виробником котельного обладнання або визначається в процесі випробовувань котла.

Від значення α залежать втрати тепла в котлі (рис.1.18): Q_1 — з відсосом димових газів; Q_2 — з хімічним недопалом; Q_3 — з механічним недопалом. АСР повітря повинна при кожному відповідному навантаженні підтримувати оптимальне значення α_{opt} , яке забезпечує максимальний ККД котла η_{max} .

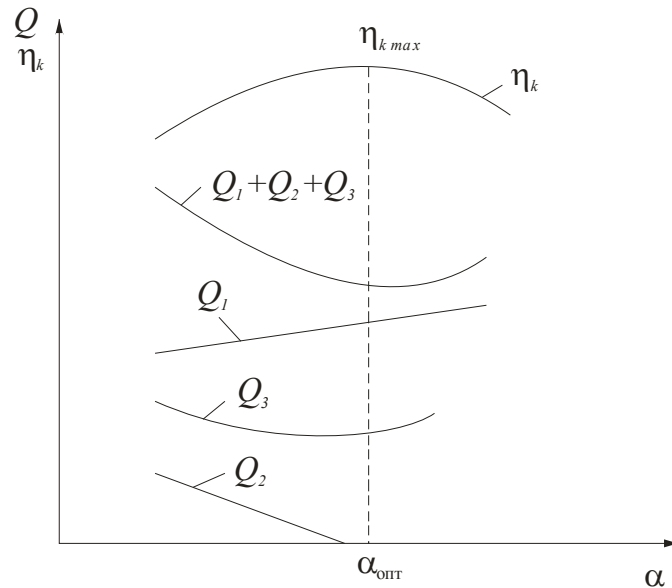


Рис.1.18. Залежність втрат теплоти Q і ККД котла η_k від коефіцієнту надлишку повітря α

Значення надлишку повітря частіше всього визначається за вмістом вільного кисню в димових газах:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}$$

Якщо $\alpha \approx 1.2$, маємо $O_2 = 3,5 \%$.

Якщо процес горіння автоматизований, сигнал за вмістом кисню в димових газах використовується не як основний, а як коректуючий для оптимізації процесу.

Якщо розрахувати α за кількістю палива B , що подається в топку, то:

$$\alpha = k' \frac{G_{m\phi}}{B}, \quad (2.9)$$

де k' — коефіцієнт, який залежить, від теплотворної здатності палива. Із (2.9) виходить, що при постійній теплотворній здатності палива коефіцієнт надлишку повітря визначається відношенням кількості повітря до кількості палива.

В усталеному режимі тепло, яке виносить з котла перегріта пара, дорівнює використаному теплу палива:

$$D_{n.n}(i_{n.n} - i_g) = BQ_n^p \eta_k. \quad (2.10)$$

Загальна витрата повітря: $G_n = \alpha k B Q_n^p, \quad (2.11)$

де k — коефіцієнт пропорційності.

Підставляючи знайдене з (2.11) значення BQ_n^p в (2.10), після простих перетворень одержимо:

$$\alpha = \frac{G_n}{D_{n.n}} \frac{\eta_k}{k(i_{n.n} - i_g)}. \quad (2.12)$$

Оскільки в процесі роботи ККД котла η змінюється відносно мало, а величина

$i_{n.n} - i_g$) також є практично незмінною, то (2.13) можна записати у вигляді:

$$\alpha = k'' \frac{G_n}{D_{n.n}}. \quad (2.13)$$

Тому, підтримуючи постійним співвідношення витрат пари і повітря, можна забезпечити стабільність коефіцієнта надлишку повітря.

Кількість тепла, що сприймається поверхнями нагріву, визначається рівнянням

$Q = Q_n^p B \eta_k$, звідки:

$$B = \frac{Q}{Q_n^p \eta_k}. \quad (2.14)$$

Підставимо значення B із (2.14) в (2.9) :

$$\alpha = k' \frac{G_n Q_n^p \eta_k}{Q}. \quad (2.15)$$

Праву частину (2.15) помножимо і розділимо на різницю ентальпій $i_{n.n} - i_g$.

Зважаючи, що $\frac{Q}{i_{n.n} - i_g} = D_k$, можна (2.15) привести до такого вигляду:

$$\alpha = k' \frac{G_n}{D_k} \frac{Q_n^p \eta_k}{(i_{n.n} - i_g)} = k''' \frac{G_n}{D_k}. \quad (2.16)$$

Таким чином, при відносно постійному ККД котла η_k коефіцієнт α можна також визначити за відношенням витрати повітря G_n , що подається в топку, і теплового навантаження D_k .

Зважаючи на (2.9), (2.13) і (2.16), на практиці використовуються АСР економичності, виконані за схемами:

- паливо — повітря;
- пара — повітря;
- теплове навантаження — повітря.

Крім цього, широко використовуються АСР, побудовані на основі однієї із типових схем з корекцією вмісту вільного кисню в димових газах.

АСР економичності повинна забезпечити підтримання при постійному навантаженні котла вміст збиткового кисню з максимально допустимим відхиленням $\pm 0,2$ % для газомазутних котлів з малим надлишком повітря і $\pm 0,5$ % для решти котлів.

1.2.4. Барабанний паровий котел як об'єкт регулювання рівня

В теорії автоматичного регулювання барабанний паровий котел розглядається як одноємнісний об'єкт рівня, в якому пароводяна суміш зосереджена у верхньому барабані. Вміст пари і води в суміші, а тому рівень в барабані може змінюватися під впливом різних причин. Найважливішими із них є такі:

- а) порушення матеріального балансу між подачею живильної води в котел і паровідбором;
- б) зміна теплового навантаження котла, тобто зміна виділення тепла в паливній камері;
- в) зміна тиску в барабані котла;
- г) коливання температури живильної води.

Для кращого розуміння фізичної суті явищ, які виникають при збуреннях різного роду, розглянемо спочатку, як змінюється рівень у барабані під впливом кожного із перелічених вище факторів зокрема, тобто, коли відсутній вплив інших факторів. Якщо ж усі згадані причини зміни рівня діють одночасно, як це звичайно буває в умовах експлуатації, тоді загальне відхилення рівня буде сумою змін, що виникають під впливом усіх цих факторів.

Матеріальний небаланс може з'явитися, наприклад, якщо змінювати подачу води G_6 . Він приводить до відхилення рівня в барабані котла зі швидкістю:

$$T_1 \frac{dH_6}{d\tau} = G_6 - D_6, \quad (2.17)$$

де $T_1 = \frac{S(\rho_6 - \rho_n)\Delta H_{\max}}{D_{6\max}}$ — стала часу розгону котла за рівнем. Це час протягом

якого рівень води в барабані котла зміниться від вищого до нижчого допустимих меж ($\Delta H_{\max} = H_{\max} - H_{\min}$) при максимальному паровідборі $D_{6\max}$

і відсутності подачі води в котел G_6 ;

S — площа дзеркала випаровування;

$(\rho_6 - \rho_n)$ — густина живильної води і насиченої пари

Після інтегрування (2.17) маємо:

$$H_6 = (G_6 - D_6) \frac{\tau}{T_1}. \quad (2.18)$$

Із (2.18) видно, що рівень у барабані котла залежить лінійно не тільки від матеріального балансу між припливом живильної води і витратою пари, а також від часу τ . Кут нахилу графіка τ визначається сталою часу розгону T_1 .

Теоретична крива розгону за рівнем (рис.1.19, графік І) дещо відрізняється від реальних динамічних характеристик, і в значній мірі ця різниця залежить від типу економайзера.

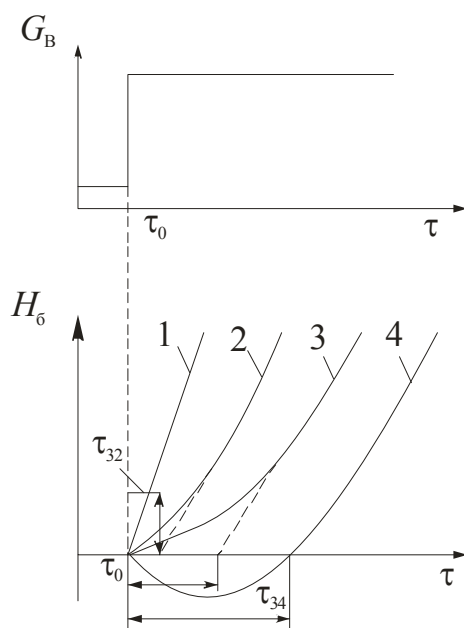


Рис. 1.19. Крива розгону котла за рівнем при збуренні водою:
 1—теоретична характеристика; 2— для некиплячого економайзера; 3— для киплячого економайзера; 4— для некиплячого економайзера при значному недогріві води

Для котлів з економайзером некиплячого типу при збуренні G_6 вода в барабан котла надходить з температурою, нижчою, ніж температура насичення, що призводить до деякого зниження температури і відповідно об'єму пароводяної суміші в барабані. Тому зразу ж після збурення додаткова витрата живильної води в барабан компенсується зміною об'єму пароводяної суміші, що призводить до появи відносно невеликого запізнювання $\tau = 20 \dots 100$ с (графік 2). В киплячих економайзерах живильна вода нагрівається до температури насичення і частково (до 20 %) перетворюється в пару. Якщо приплив живильної води збільшується, спочатку спостерігається зменшення об'єму пари в киплячому економайзері, і живильна вода займає цей звільнений об'єм. Тому рівень води в барабані залишається без істотних змін доти, поки не закінчиться заміщення живильною водою парового об'єму в економайзері. Це призводить до появи запізнювання $\tau \approx 100 \dots 300$ с, значення якого залежить від інтенсивності збурення та конструктивних особливостей економайзера.

Для котлів з некиплячим економайзером, коли вода значно недогрівається відносно температури насичення, в динамічному режимі притаманне так зване явище "набухання" рівня. Суть цього явища полягає в тому, що через зміни об'єму пароводяної суміші під дзеркалом випаровування змінюється рівень спочатку в бік, протилежний приросту витрати живильної води (графік 4). Наприклад, збільшення припливу холодної води викличе спочатку зниження температури пароводяної суміші в барабані котла і, як наслідок цього,— зниження її рівня. Надалі рівень почне зростати, тому що приплив води в котел перевищує витрату пари із нього. Процес зміни рівня в даному випадку характеризується значним запізнюванням $\tau > 300$ с.

Досить суттєво відбивається на рівні води в барабані котла зміни паровідбору D_6 . У цьому випадку котел як об'єкт регулювання рівня отримує два збурюючих діяння: за матеріальним небалансом, який викликає відхилення рівня H_1 , і за зміною тиску в барабані, що призводить до набухання котлової води та зміни рівня H_2 . Таким чином, в результаті збурення паровідбором рівень H_6 у барабані котла зміниться:

$$H_6 = H_1 - H_2. \quad (2.19)$$

Перший фактор викликає зміну рівня за астатичним законом, причому в (2.17) $G_6 = const$, тому

$$T_1 \frac{dH_1}{d\tau} = -D_6. \quad (2.20)$$

Другий фактор викличе зміну рівня за аперіодичним законом першого порядку:

$$T_2 \frac{dH_2}{d\tau} + H_2 = K_2 D_6, \quad (2.21)$$

де K_2 — коефіцієнт передачі об'єкта за каналом регулювання «витрата пари — зміна рівня».

Продиференціюємо (2.20), (2.21) і помножимо їх відповідно на T_2 і T_1 .

Одержимо:

$$T_1 T_2 \frac{d^2 H_1}{d\tau^2} = -T_2 \frac{dD_{\delta}}{d\tau}; \quad (2.22)$$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 H_2}{d\tau^2} + T_1 \frac{dH_{\delta}}{d\tau} = T_1 K_2 \frac{dD_{\delta}}{d\tau}. \quad (2.23)$$

Просумуємо (2.20), (2.22) та (2.23). З урахуванням (2.17) запишемо:

$$T_1 T_0 \frac{d^2 H_{\delta}}{d\tau^2} + T_1 \frac{dH_{\delta}}{d\tau} = (T_1 K_2 - T_2) \frac{dD_{\delta}}{d\tau} - D_{\delta}. \quad (2.24)$$

Із (2.24) виходить, що зміна рівня в барабані залежить не тільки від зміни навантаження котла D_{δ} , а і від швидкості цієї зміни $\frac{dD_{\delta}}{d\tau}$.

При нанесенні збурення витратою пари D_{δ} спочатку спостерігається зміна рівня зворотного знака (рис. 1.20, графік 3), що пояснюється явищем набухання котлової води.

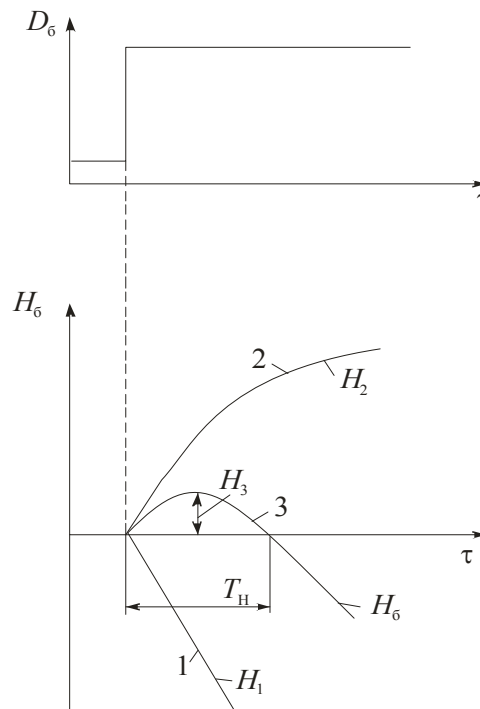


Рис. 1.20. Криві розгону котла по рівню при збуренні паровідбором:

- 1 – дія матеріального небалансу;
- 2 – дія зміни тиску в барабані;
- 3 – результуюча зміна рівня.

Час T_n , протягом якого збурюючі дії за матеріальним небалансом і за зміною тиску в барабані досягнуть однакової ефективності, тобто $H_1 = H_2$, називається часом набухання. Слід зауважити, що амплітуда H_3 зміни рівня H_{δ} зворотного знаку залежить від швидкості зміни парового навантаження $\frac{dD_{\delta}}{d\tau}$, а

час набухання T_n від сталої $T_n = K_2 T_l$.

Однією з особливостей, що ускладнює процес регулювання рівня, є те, що навіть, якщо одночасно і відповідно змінюються витрати пари і припливу живильної води, тобто за умови матеріального балансу пара – вода, матимемо результуючу відхилення рівня ΔH_6 (рис. 1.21).

Таким чином, при збуренні парою, навіть з використанням швидкодіючого регулятора живлення, не вдасться повністю ліквідувати коливання рівня в барабані котла. Для обмеження таких коливань лімітують паровідбір:

$$D_6 = \frac{H_{6.2}}{H_{6_{\max}}} \frac{T_1}{T_n}, \quad (2.25)$$

де $H_{6.2}$ і $H_{6_{\max}}$ — гранично допустиме і максимальне відхилення рівня від номінального значення.

Розглянемо, як змінюється рівень води за стрибкоподібним збільшенням виділення тепла в топці і постійному тиску в барабані

Внаслідок деякої інерційності поверхонь нагрівання паропродуктивність D_6 не може змінитись стрибком, а зростатиме за кривою, близькою до експоненти (рис. 1.21). Будемо вважати, що приплив води G_6 в барабан змінюється аналогічно зміні паровідбору D_6 і матеріальний небаланс відсутній. Незважаючи на це, рівень води в барабані все-таки буде змінюватись і ось чому.

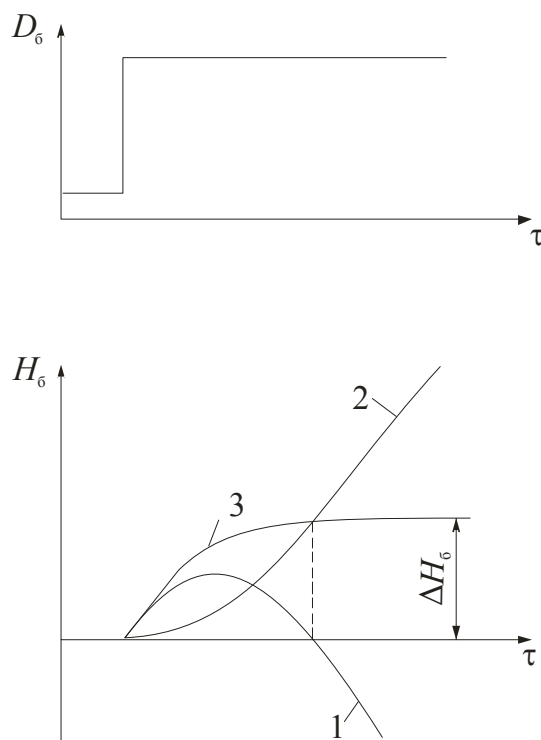


Рис. 1.21. Графіки зміни рівня в барабані котла при одночасній і відповідній зміні витрати води та пари: 1 - при збуренні парою; 2- при збуренні живильною водою; 3 – результуюча зміни рівня

Кип'ятильні труби котла під час його роботи заповнені сумішшю води і насиченої пари, причому вміст пари в суміші залежить від інтенсивності нагріву

труб. Якщо збільшити тепловиділення у топці, то вміст пари під дзеркалом випаровування збільшується, що приводить до підвищення рівня в барабані без зміни загальної вагової кількості пароводяної суміші. З тієї ж причини зменшення тепловиділення в топці приводять до зниження рівня. Ці явища називають відповідно набуханням та провалом рівня.

Чим більше теплове напруження поверхні нагріву котла і чим сильніше екранування топки, тим більший вміст пари в пароводяній суміші тим більші зміни рівня виникають при коливаннях інтенсивності горіння. На сучасних котлах з сильно розвинутим екрануванням топки зміни рівня через набухання та провали досягають десятки міліметрів і нерідко виходять за допустимі межі.

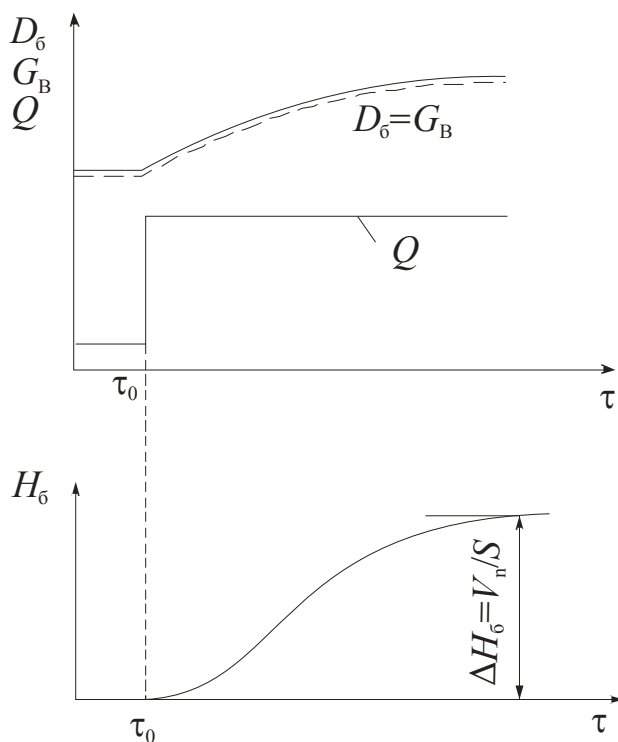


Рис. 1.22. Крива розгону котла при збуренні тепловиділенням Q у топці

Із рис 1.22 випливає, що при збуренні тепловиділенням котел як об'єкт регулювання рівня можна подати аперіодичною ланкою першого порядку:

$$\Delta H_{\delta} = \frac{\Delta V_n}{S} (1 - e^{-L\tau}), \quad (2.26)$$

де ΔV_n — приріст об'єму пари в пароводяній суміші; S — площа дзеркала випаровування; L — постійний коефіцієнт, значення якого визначається умовами циркуляції води в котлі.

Для сучасних котлів член $e^{-L\tau}$ уже після 10... 15 с наближається до нуля, тому згідно з (2.26) відхилення рівня прямує до значення:

$$\Delta H_{\delta} = \frac{\Delta V_n}{S}.$$

Вплив зміни тиску в барабані котла, якщо маємо стабільне навантаження і відсутність матеріального небалансу, проявляється, по-перше, в додатковому випаровуванні деякої кількості киплячої води (при зниженні тиску) або в

частковій конденсації пари в пароводяній суміші (при зростанні тиску) за рахунок зміни теплоти пароутворення і, по-друге, в зміні об'єму, який займає пара в пароводяній суміші, в результаті зміни питомого об'єму цієї пари.

Обидва ці фактори діють в один і той же бік, викликаючи зниження рівня, коли тиск зростає, і навпаки. При цьому дія першого фактору проявляється тільки тимчасово: відхилення рівня внаслідок додаткового випаровування або конденсації відбувається тільки за зміною тиску і зникає після його стабілізації. В той же час зміни рівня, викликані іншими чинниками, тобто стисненням або розширенням пухирців пари в суміші, не зникають.

Тому крива розгону за рівнем при стрибкоподібному підвищенні тиску в барабані характеризується глибоким зниженням рівня на початку процесу і після цього деяким його підвищенням (рис.1.23, графік 1) На практиці такі випадки можливі, наприклад, в аварійній ситуації від'єднання парової турбіни.

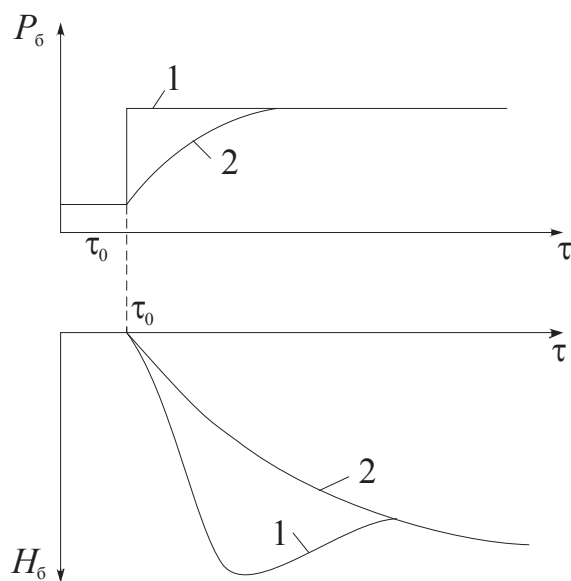


Рис. 1.23. Крива розгону котла за рівнем при стрибкоподібному (1) і плавному (2) збуренню тиском P_6 в барабані котла

Однак за нормальним експлуатаційним режимом різких змін тиску в барабані звичайно не буває. Ці зміни відносно невеликі носять плавний характер. У такому випадку тимчасові зміни рівня, викликані додатковим випаровуванням або конденсацією стають мало помітними (рис. 2.11, графік 2).

Отже, зміни тиску в барабані котла є однією з причин явища набухання, і провалу рівня, тому що вони теж приводять до змін об'єму пари в пароводяній суміші.

Барабан котла як об'єкт регулювання рівня для невеликих і плавних збурень тиском може вважатися пропорційною ланкою, що описується рівнянням:

$$\Delta H_6 = -\frac{K_3 \Delta p_6}{S}, \quad (2.27)$$

де Δp — зміна тиску в барабані; K_3 — коефіцієнт, значення якого визначається

відносним вмістом пари в пароводяній суміші. Знак "-" означає, що рівень знижуватиметься в процесі зростання тиску.

Збурення температурою живильної води може виникнути, якщо змінювати кількість підігрівників високого тиску, що працюють. Це викликає порушення режиму роботи економайзера.

Коли температура живильної води збільшується, зростає пароутворення у випарувальному контурі. В результаті цього рівень буде підвищуватися. Надалі збільшення пароутворення при постійній витраті приведе до підвищення тиску в барабані і, як наслідок,— до зниження питомого об'єму пари і рівня пароводяної суміші.

Різкі коливання температури живильної води небажані. Вони є причиною додаткових збурень не тільки для регулятора рівня, але також для АСР горіння і всієї автоматики котла.

В сучасних котлоагрегатах з ВЕЛИКИМ підігрівом вода в паропідігрівниках регенеративного циклу турбіни або в киплячих економайзерах вплив цього чинника на рівень в барабані котла незначний. Таким чином, барабанний паровий котел як об'єкт регулювання рівня має ряд особливостей, які ускладнюють завдання автоматичного керування. Основні з них такі:

1. Практично повна відсутність самовирівнювання як на стіканні, і на припливі, оскільки зміна рівня не відбивається на витраті, а коливання гідростатичного тиску при змінах рівня складають всього кілька Паскалів, тоді як перепад тисків на живильному клапані становить звичайно 0,2...0,3 МПа.

2. Наявність значної кількості збурень призводить:

а) до матеріального небалансу між подачею живильної води і витратою пари;

б) до зміни пароутворення в економайзері і подачі в котел необхідної вагової кількості живильної води;

в) до набухання рівня, тобто зміни об'єму пароводяної емульсії, яка заповнює систему котла, що є результатом зміни об'єму і кількості пухирців пари в цій емульсії.

3. Наявність запізнювань як за каналами збурюючих, так і регулюючих діянь.

Внаслідок цього, якщо різко змінювати навантаження котла, регулятор може не утримати рівень в барабані в заданих рамках. У таких випадках обмежують швидкість зміни навантаження та інших збурень: чим менша швидкість їх зміни, тим менший вплив на рівень має явище набухання.

Регулювання температури перегріву пари

Необхідність підтримання температури перегріву пари в досить вузьких межах (+5...-10°C) диктується вимогами надійності роботи обладнання, а також умовами економічності паросилового циклу. Падіння температури пари нижче допустимої межі викликає погіршення економічності і, крім того, посилює ерозію в останніх ступенях турбіни. Зростання температури пари вище деякого значення також недопустиме через зниження надійності роботи металу пароперегрівника, трубопроводів і передньої частини турбіни.

Нормальними для АСР температури перегріву пари є режими зміни навантажень: 60-100 % для пилувугільних котлів і 30 -100 %— газомазутних. Для барабанних котлів діапазон зміни температури свіжої пари складає: нижча межа 390 °C — для котла, що працює в блоці, і 450 °C — для котла, який

працює на загальну парову магістраль; верхня межа 565 °С; номінальна температура 540 °С. Коли досягнута нижча температурна межа, котел негайно відключається захисними пристроями; коли ж температура досягає верхньої межі, котел зупиняється через 3 хвилини.

Точність підтримання заданого значення температури свіжої пари на виході із котла суттєво впливає на економічність його роботи. Так, зниження температури пари на 10 °С еквівалентне перевитраті палива на 0,2 %; зниження температури перегріву на 10 °С в циклі з тиском 10,0 МПа і температурою 540 °С підвищує вологість пари на виході із останнього ступеня турбіни приблизно на 0,7%; підвищення температури на 10°С знижує довговічність пароперегрівника із сталі марки 2ХІМФ на 30 %.

Пароперегрівник як об'єкт регулювання температури перегріву пари

В процесі експлуатації котельних агрегатів зустрічаються з цілим рядом чинників, які створюють збурення для пароперегрівника і викликають відхилення температури пари. Їх можна розділити на дві групи:

1. Збурення, що пов'язані із зміною кількості тепла, сприйнятого поверхнями нагріву пароперегрівника (його газова сторона).
2. Збурення, які пов'язані із зміною тепловмісту пари, що надходить у пароперегрівник (збурення за паровою стороною).

Основні збурення за газовою стороною: а) навантаження котла; б) якість палива і форма факела; в) коефіцієнт надлишку повітря; г) шлакування і забруднення поверхонь пароперегрівника золою і покриття внутрішніх поверхонь труб солями.

Основні збурення за паровою стороною: а) температура живильної води; б) зашлакування і забруднення поверхонь нагріву котла; в) порушення роботи сепараційних пристроїв.

Найбільш істотним джерелом, що впливає на температуру перегріву пари, є навантаження котла. Коли пароперегрівник розміщений тільки в конвективній зоні котла, зростання навантаження призводять до підвищення температури і навпаки (рис. 1.24, графік 1). Це пояснюється тим, що із зростанням паровідбору збільшується витрата палива в топку, зростає об'єм, швидкість і температура продуктів згоряння, що омивають пароперегрівник. Разом з цим збільшується доля тепла, яка сприймається пароперегрівником, тому підвищується і температура перегріву.

Якщо тепло сприймається випромінюванням (радіаційні пароперегрівники), із зростанням паровідбору температура перегріву пари знижується (графік 2). Це пояснюється тим, що незважаючи на невелике збільшення теплосприймання радіаційних поверхонь нагріву, одночасно збільшується витрата пари, і в цілому зменшується питоме теплосприймання пари.

Комбінування розміщення поверхонь нагріву, частково в конвективній, а частково в радіаційній зонах, дозволяє зменшити коливання температури пари (графік 3).

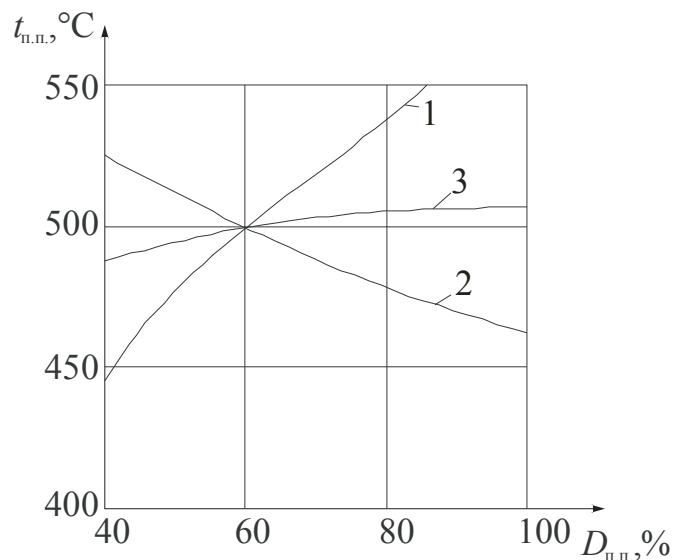


Рис. 1.24. Статичні характеристики пароперегрівників:
1 – конвективного; 2 – радіаційного; 3 – комбінованого

Слід мати на увазі, що в барабанних котлах перевищує конвективна частина пароперегрівника. Тому завдання АСР температури перегріву пари найчастіше зводиться до охолодження пари, тим більш інтенсивного, чим більшим є навантаження котла; охолодження, потрібне при повному навантаженні, звичайно не перевищує 40...50 С.

Нерівномірність тонкості помелу палива приводить до зміни довжини факела. Так, за грубішим помелом частки палива догорають у верхній частині топки, за рахунок чого зменшується теплосприймання екранних поверхонь, зменшується генерація пари, збільшується частка конвективного теплообміну, і температура пари зростає.

Шлакування топки (випарних поверхонь) призводить до збільшення температури газів на виході із топки і зменшення пароутворення. Все це сприяє підвищенню температури пари.

Забруднення поверхонь нагріву пароперегрівника (наприклад, при заносі їх золою) зменшує його теплосприймання і температуру пари. Аналогічна картина спостерігається, коли солями заносяться внутрішні поверхні пароперегрівника. Зниження температури живильної води (наприклад, при від'єднанні регенеративних підігрівників високого тиску) призводить до підвищення температури перегріву пари. Це пояснюється тим, що для випаровування холоднішої води потрібно збільшити виділення тепла в топці і зростання температури перегріву пари. Зниження температури води з 200 до 140°C викликає підвищення температури перегріву пари приблизно на 20°C.

Для визначення властивостей пароперегрівника при різних збуреннях спочатку знімають, а потім аналізують його динамічні характеристики. Так, коли збурення відбувається з боку газів (змінюю подачі палива в топку), крива розгону пароперегрівника має вигляд типової перехідної функції двоємнісного об'єкта з самовирівнюванням.

Динамічні характеристики пароперегрівника $W_n(p)$ характеризують тоді час запізнювання τ_3 і стала часу T_0 , а також їх співвідношення τ_3/T_0 . Чим більшим буде це значення, тим гіршими будуть динамічні властивості об'єкта і складнішим завдання його регулювання.

При збуренні за газовою стороною (наприклад, зміною витрати пари):

$$\tau_3 = 10 \dots 20 \text{ с}; \quad T_0 = A_1 + \tau_o; \quad A_1 = 3,6 \frac{C_m G_m}{C_n D_{n.n}},$$

де $\tau_o = \frac{L}{V}$ — час проходження пари через пароперегрівник; L — довжина пароперегрівника; V — швидкість руху пари; C_m, C_n — теплоємність відповідно металу і пари; G_m — маса металу пароперегрівника.

При збуренні за паровою стороною (наприклад, подачею охолоджувальної води) $\tau_3 = A_1(1 - A_2)^2 + \tau_o$. Звичайно, $\tau_3 = 20 \dots 120 \text{ с}$; $T_0 = 3,8 A_1 A_2(1 - 0,05 A_2)$, де A_2 — безрозмірний конструктивний параметр.

$$A_2 = \sqrt{\frac{1000 C_n D_{n.n}}{\alpha_T S}},$$

α_T — середній коефіцієнт теплопередачі від стінки пароперегрівника до пари; S — площа поверхонь нагріву.

Способи регулювання температури пари

Регулювання температури перегріву пари може відбуватися або за газовою, або за паровою стороною.

Регулюючи за газовою стороною, використовують два способи:

- регулюють витрату димових газів, що омивають пароперегрівник;
- змінюють кут нахилу факелу в топці. Для зміни положення факелу використовують поворотні пальники. Відхилення осі пальника від горизонталі вгору на 12° або вниз на 20° дозволяє змінити температуру перегріву на $20 \dots 30^\circ \text{C}$.

Регулювання за газовою стороною забезпечує високі показники якості перехідного процесу, але складність практичної реалізації цього методу обмежує його використання на ТЕС.

Суть регулювання за паровою стороною зводиться до зменшення тепловмісту пари шляхом її охолодження в теплообмінниках поверхневого або змішувального типу. В обох випадках регулювання відбувається зміною подачі охолоджувальної води в пароохолоджувач.

З точки зору динаміки регулювання цей спосіб поступається перед газовим. Регулювання перегріву за паровою стороною можливе в тих випадках, коли пара отримує надлишкове тепло, яке знімається регулюючими пристроями. Як правило, пароохолоджувачі монтуються між ступенями пароперегрівника.

Процес регулювання температури перегріву пари поверхневими пароохолоджувачами має несприятливі динамічні показники через значне

запізнювання. Оскільки для охолодження пари у цьому випадку використовується до 60 %, а інколи і більше всієї живильної води, то робота регулятора перегрівання тісно пов'язана з регулюванням живлення котла. На сучасних котлах поверхневі пароохолоджувачі використовуються рідко.

Дія змішувального (впорскувального) пароохолоджувача ґрунтується на упорскуванні знесоленої води (конденсату) в потік перегрітої пари, що вимагає установа висконапірних насосів малої продуктивності. На випаровування конденсату з пари відбирається деяка кількість тепла, за рахунок чого знижується її температура. Змінюючи кількість охолоджувальної води, можна регулювати температуру пари. Витрата води на пароохолодження складає 4...6 % максимальної паропроductивності котла.

Впорскуючі пароохолоджувачі мають непогані динамічні властивості, а саме відносно невелику інерційність і мале запізнювання. Для забезпечення надійної роботи обладнання і підтримання високих показників якості перехідного процесу такі пароохолоджувачі монтуються в розсітку пароперегрівника так, щоб приріст ентальпії пари в пакеті пароперегрівника за місцем упорскування складав 200...400 кДж/кг. Як правило, таке місце розташоване на відстані 2/3 довжини пароперегрівника, рахуючи від його початку. На котлах із сильно розвинутими пароперегрівниками устанолюють два-три впорскуючі пароохолоджувачі.

Таким чином, при будь-якому із розглянутих способів регулювання температури перегріву пари динамічні властивості пароперегрівника виявляються доволі несприятливими: наявність запізнювання і відносно малі сталі часу (великі швидкості розгону) створюють труднощі в регулюванні і спонукають до необхідності ускладнення АСР перегріву пари.

Контрольні запитання

1. Які основні елементи містить типова принципова схема ТЕС ?
2. Які збудуючі діяння та регульовані параметри визначають роботу парогенератора ?
3. Парогенератор як об'єкт регулювання тиску пари в барабані котла.
4. Парогенератор як об'єкт регулювання економічності згоряння палива.
5. Які основні збурення діють на котел як об'єкт регулювання рівня води?
6. Дія матеріального небалансу на рівень в барабані котла.
7. Пароперегрівник як об'єкт регулювання температури перегрітої пари.

1.3. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

Основними технологічними процесами м'ясної промисловості є виробництва: м'яса на кістках; ковбасних виробів; харчових тваринних жирів; кормового борошна.

Процес виробництва м'яса на кістках найменш механізований: забій, розділювання і туалет туш великої рогатої худоби і свиней відбувається вручну і тільки частково механізовані. Різноманіття елементів структури тварин і їх розмірів не дозволяє здійснити повну механізацію переробки і автоматичне

управління..

Найбільша степінь механізації і автоматизації досягнуті у таких технологічних процесах, де сировина структурою однорідна (кров, обрізне м'ясо, м'яка і кісткова жиросировина) або із м'ясної сировини різних видів виготовляється один готовий продукт (наприклад, кормове борошно).

Технологічне обладнання – подрібнювачі, змішувачі, витримувачі, агрегати для термообробки – є стійкими об'єктами з хорошим самовирівнюванням.

1.3.1. Технологічний процес переробки свиней у шкурі

На лінії переробки свиней у шкурі здійснюються такі основні операції: оглушення, обезкровлювання, видалення внутрішніх органів, туалет туш, відокремлення голови і кінцівок.

Схемою автоматизації (рис.1.25) передбачається: облік туш, вимірювання і регулювання температури води в шпарильному чані, в збірнику скребмашини, повітря в обпалювальній печі, сигналізація про відхилення параметрів, згасання факела та дистанційне управління електродвигунами.

Свинячі туші подаються із ланцюгового елеватора в апарат для опускання туш у шпарильний чан, який являє собою типову аперіодичну ланку першого порядку з передаточною функцією $W_1(p)$. Коефіцієнти рівняння залежать від конструкції апарата і швидкості переміщення конвеєра. Тут визначається лічильником кількість свинячих туш S і передбачено контроль і регулювання температури гарячої води T_1 .

Наступним етапом обробки туш є видалення щитини у скребмашині. Передаточна функція $W_2(p)$ описується рівнянням аперіодичної ланки першого порядку, а технічні засоби автоматизації такі ж самі, як і на попередньому об'єкті (температура T_2 і дистанційне управління двигуном M_1).

Далі іде стіл доскребовки свинячих туш, де відбувається туалет і доочищення туш. Передаточна функція $W_3(p)$ описується рівнянням транспортера, тобто являє собою типову ланку чистого запізнювання. Контролюються і регулюються рівень теплої води L і управління двигуном M_2 елеватора.

В обпалювальній печі є система газових пальників, за допомогою яких відбувається остаточна теплова обробка свинячих туш. Тут контролюються і регулюються тиск в газовій магістралі P , температура в печі T_3 . Передаточна функція $W_4(p)$ по обом цим каналам регулювання являє собою аперіодичну ланку першого порядку

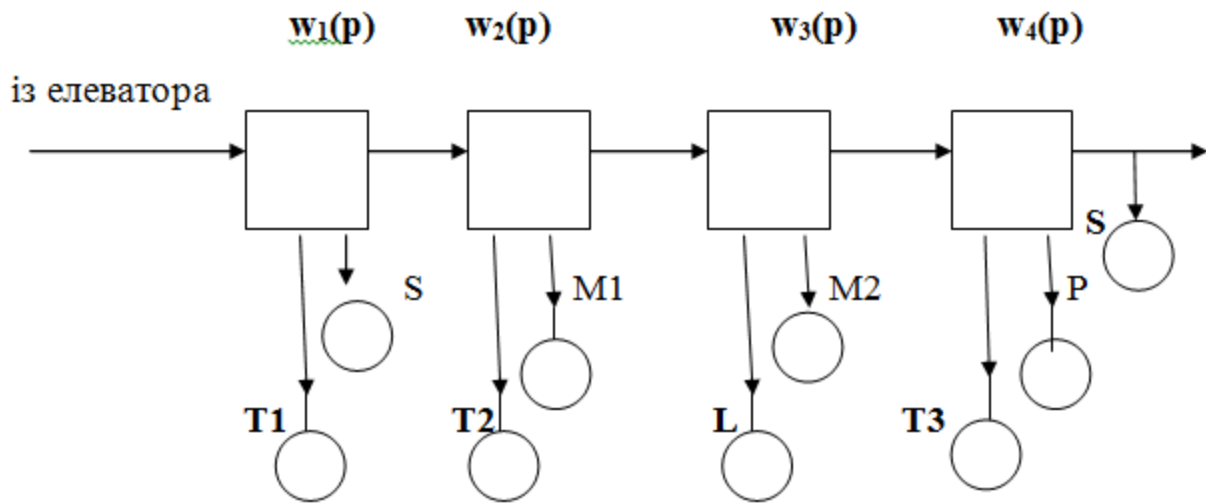


Рис.1.25.Блок-схема процесу переробки свиней у шкурі

Далі іде стіл доскребовки свинячих туш, де відбувається туалет і доочищення туш. Передаточна функція $W_3(p)$ описується рівнянням транспортера, тобто являє собою типову ланку чистого запізнювання. Контролюються і регулюються рівень теплої води L і управління двигуном $M2$ елеватора.

В обпалювальній печі є система газових пальників, за допомогою яких відбувається остаточна теплова обробка свинячих туш. Тут контролюються і регулюються тиск в газовій магістралі P , температура в печі $T3$. Передаточна функція $W_4(p)$ по обом цим каналам регулювання являє собою аперіодичну ланку першого порядку

Процес обробки свинячих туш на такій лінії закінчується обмиванням напівфабрикатів гарячою водою, яка подається із котельні в систему душів.

1.3.2. Технологічний процес виробництва ковбасного фаршу

Основними операціями технологічного процесу є : тонке подрібнення м'яса, його змішування з розчинами нітрита, нітрата і солі, змішування компонентів ковбасного фаршу (яловичина, свинина, фосфати, шпиг, спеції, розчин часнику тощо) та утворення ковбасних батонів. Додатковими операціями є: одержання льоду і приготування різних добавок (розчинів нітратів, нітритів, солі, спецій і фосфатів).

Технологічне обладнання: подрібнювачі, змішувачі, витримувачі, агрегати для формування ковбасних батонів та транспортери різних типів.

Розділювання напівтуш на відруби, обвалювання м'яса (відокремлення м'яса від кісток) і його жилювання виконуються вручну.

Схемою автоматизації передбачається підтримання заданої продуктивності, вологості продукту у змішувачах, рівня у ємностях, облік ковбасних батонів. Управління роботою транспортерів здійснюється дистанційно.

Блок-схема технологічного процесу показана на рис.1.26.

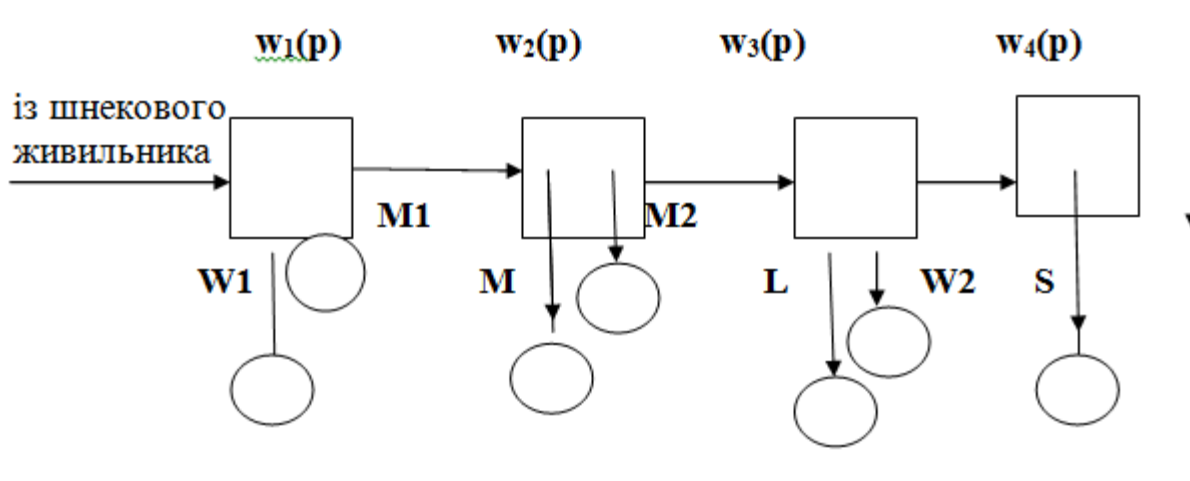


Рис.1. 26. Блок-схема процесу приготування ковбасного фаршу

М'ясо шнековим живильником подається у подрібнювач з передаточною функцією $W_1(p)$ (типова ланка чистого запізнювання). Сюди ж подається лід із снігогенератора. Маса продукту W_1 контролюється і регулюється зміною продуктивності живильника.

Далі продукт іде на змішувач з передаточною функцією $W_2(p)$ (ланка чистого запізнювання). куди з відповідних дозаторів подаються розчини нітриту, нітрату і повареної солі. Тут контролюється вологість продукту M і передбачене дистанційне управління двигуном M_2 .

Продукт переходить у витримувачі - апарати досить великої ємності.

Далі напівфабрикат подається на змішувач $W_3(p)$. Туди ж із дозаторів подаються свинячий шпиг, розчини фосфатів, спецій, екстракту часнику тощо. Потім готовий фарш подається на агрегат для формування ковбасних виробів $W_4(p)$.

Регулюється автоматично рівень продукту L у витримувачах, дозування спецій W_2 , кількість ковбасних батонів S на виході із формувального агрегату. Усі технологічні об'єкти є типовими ланками чистого запізнювання.

1.3.3. Технологічні процеси термічної обробки м'ясних продуктів

Для виробництва ковбасних виробів використовують термокамери різних видів і конструкцій. На рис.1.27 схематично показана термокамера для виготовлення варених і напівкопчених ковбас. Робочу камеру перед завантаженням рами з ковбасними батонами підсушують за високої температури на протязі заданого технологічним режимом часу. Рами подаються у камеру через дверні пройми (див. рис.1. 27) і закріплюють на підвісному монорельсі. Після закінчення технологічного процесу рами з готовою продукцією виставляють зовні.

Виготовлення варених ковбасних виробів

Процес термообробки варених ковбас складається підсушування, обсмажування та варіння. Підсушування проводиться тільки за часом, а обсмажування та варіння можна здійснювати за температурою всередині ковбасного батону або за часом. Режими термообробки варених ковбас наведені

у таблиці 1.

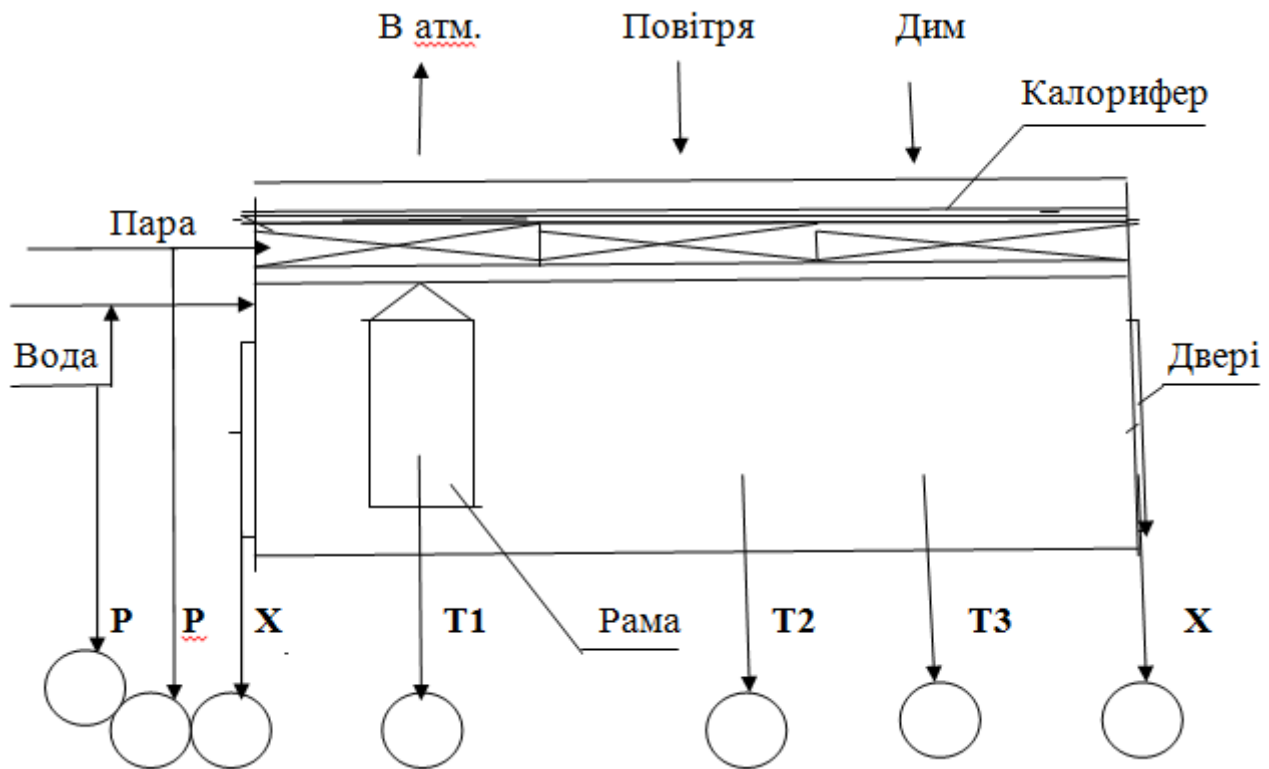


Рис.1. 27. Спрощена схема термокамери

Таблиця 1

Режими термообработки вареных ковбас

Продукт	Процес					
	Підсушування		<u>Обсмаження</u>		Варіння	
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{хв}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{хв}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{хв}$
Ковбаса	25...3	15...2	53...55	60...65	72	56...60
Сосиски	0	0	53...55	25...30	-	10
Сардельки	25...3	7	60	30...35	72	10...15

Примітка: t – середнє значення температури у середині батону наприкінці термообробки.

τ - тривалість термообробки.

Процес термообработки напівкопчених ковбас

Процес термообработки складається із підсушування, обсмажування, варіння та копчення. Режимы термообработки подані у таблиці 2.

Режими термообробки напівкопчених ковбас

Процес	Температура в камері, °С	Відносна вологість в камері, %
Підсушування, обсмажування	95...97	12...15
Варіння	82...84	90
Копчення	40...45	60

Після завантаження термокамери рамами з ковбасними батонами і закриттям дверей вимикається система блокування камери (на рис 1.27 кінцеві вимикачі Х). Починається подача пари в калорифер і насиченої пари у термокамеру (у паропровід подається вода для досягнення заданої вологості). Тиск Р в магістралях контролюється і регулюється.

Контроль, реєстрація та автоматичне регулювання температури в камері в процесі підсушування, обсмажування і копчення здійснюється контуром Т2. До останнього ще підключається датчик контуру Т3, який постійно зволожується/ За психрометричною різницею показів датчиків Т2 і Т3 визначається вологість пароводяної суміші у камері, яка може змінюватися дією на співвідношення пара-вода

Крім того, технологічний процес може здійснюватись за температурою Т3 ковбасного батону, всередину якого вводиться голчастий датчик – термopара.

Для варених ковбас термічну обробку виробів можна проводити за часом. Для цього використовують реле часу.

Після закінчення технологічного процесу вмикається звуковий сигнал. Через визначений час відкриваються двері камери, рами з готовою продукцією викочуються зовні і камеру готують до нового циклу роботи.

Термокамери як об'єкти регулювання температури і вологості мають хороше самовирівнювання, тобто стійкість, що спрощує задачі управління.

Запікання м'ясопродуктів

У виробництві запечених буженини, карбонада, шийки, м'ясних хлібів і паштетів широкого розповсюдження набули ротаційні печі з газовим та електричним обігрівом і термоагрегати безперервної дії..

Ротаційні печі зручні тим, що займають невелику виробничу площу, не вимагають великих затрат для монтажу, налагоджування та експлуатації і одночасно придатні для запікання будь-яких м'ясопродуктів. Термоагрегати ж безперервної дії доцільно застосовувати на підприємствах великої потужності.

Найчастіше корпус ротаційної печі являє собою металевий циліндр, закріплений на масивній основі. Всередині циліндра змонтований ротор, який несе на собі вісім полиць люлькового типу. Ротор обертається від електродвигуна і подвійного черв'ячного редуктора із швидкістю 0,62 об/хв, що забезпечує необхідний час проходження люльок з продукцією через зони з різними температурами. З торців циліндр має відкидні двері, які призначені для завантаження і вивантаження продукції.

У газових печах внизу робочої камери установленні три-п'ять газових горілок. Продуктивність печі (в кг/год): по буженіні – 30-40; по м'ясному хлібу – до 100 і по карбонату – 50-80.

До недоліків газових печей можна віднести завантаження і вивантаження вручну м'ясних виробів. прямий їх контакт з продуктами згоряння і відсутність контролю за готовністю

Не так часто застосовуються газові термоагрегати конвеєрного типу. В залежності від розміщення камер такі печі можуть бути шахтними однозонними і тунельними багатозонними. Шахтні печі займають обмежену площу, але досить високі – до 10 м і більше; тунельні печі розміщуються на одному поверсі і займають велику площу. Конвеєр печі здійснює пульсуючий рух. Печі обладнані приладами для контролю температури у трьох точках, тиску і розрідження.

Продуктивність (в кг/год): по м'ясним хлібам – 800; по буженіні – 300 і по карбонату – 420.

До недоліків відносять відносно висока вартість обладнання, великі габарити, нерівномірність нагрівання виробів, що погіршує якість продукції, прямий контакт виробів з продуктами згоряння.

На невеликих ковбасних фабриках і в цехах для виготовлення смажених виробів використовують електричні шафи продуктивністю 20 – 40 кг/год. Шафи малогабаритні, обладнані терморегулюючими пристроями.

Як недолік можна відзначити обмежену продуктивність і ручне завантаження.

В електричних ротаційних печах в нижній частині циліндричного корпусу установлений електронагрівач. В робочій камері печі вимірюється і регулюється температура шляхом зміни сили струму, що подається на нагрівач. Із закінченням процесу запікання подаються звуковий і світловий сигнали. Перед завантаженням печі виробами температура в робочій камері повинна бути 180 °С. Загоряється світлове табло, що відповідає команді «Завантаження печі». Після завантаження в залежності від виду продукту оператор натискає відповідну кнопку блоку «Вибір режиму». Вмикається блок завдання і командний прилад, який управляє режимом запікання в часі. Одночасно загоряється відповідна сигнальна лампа.

Для термоагрегатів характерним є наявність стохастичного процесу, який відзначається випадковими змінами окремих параметрів (початковий вологовміст, витрата теплоносія тощо). Основними вхідними параметрами таких маса напівфабрикатів, що запікаються, їх початковий вологовміст і витрата теплоносія.

Вихідними параметрами є температура середовища в робочій камері і в середині м'ясних заготовок, а також кінцевий вологовміст виробів.

В загальному вигляді зв'язок між температурою (регульованим параметром) і тепловим навантаженням об'єкта (регульованою дією) з достатньою для практики точністю може бути поданий у вигляді послідовного з'єднання двох елементарних ланок – інерційної першого порядку і транспортного запізнювання. Властивості такого об'єкта описуються рівнянням:

$$T_0 \frac{dQ}{dt} + Q = K_0 \mu (t - \tau_0),$$

де T_0 – постійна часу об'єкта досліджень; Q – температура в об'єкті; K_0 – коефіцієнт підсилення об'єкта; μ – збурююча дія (зміна витрати теплоносія; t – час; τ_0 – час запізнювання).

В цьому рівнянні зображені статичні і динамічні характеристики термоагрегатів.

Статичні характеристики об'єкта визначають залежність між температурою і витратою теплоносія в усталеному режимі роботи. Одержані статичні характеристики термоагрегатів під час, коли усі похідні цих функцій у часі дорівнюють нулю, дають можливість установити степінь лінійності динамічних характеристик.

В свою чергу динамічні характеристики – це зміна у часі температури по зонам термоагрегата внаслідок зміни регулюючої дії.

Основною збурюючою дією за роботи термоагрегата є нерівномірність завантаження, пов'язане із сировинними ресурсами. Максимальне відхилення продуктивності термоагрегата від середнього значення складає $\pm 30\%$. При цьому допустима величина відхилення температури може бути $\pm 2,5$ °С, а середнє значення зміни температури – до $0,5$ °С. Наявність хорошого самовирівнювання в печах дозволяє вибирати самі прості закони регулювання.

Технологічний процес виготовлення сирокопчених ковбас

Інтенсифікація виробництва сирокопчених ковбас досягається шляхом використання прогресивної технології сушіння з поетапним зменшенням вологості і автоматичного регулювання температурно- зволожувального режиму сушіння.

Основним технологічним агрегатом є кондиціонер великої продуктивності із зональними підігрівачами, винесеними до сушильних камер, об'єм кожної із яких розрахований на добове вироблення ковбас. Розподілення повітря в камерах відбувається через перфоровані стелі, що спрощує систему управління процесом сушіння. Крім того, в системі кондиціонування застосовується сухий повітроохолоджувач (замість камер зрошування), що дає можливість підвищити точність регулювання.

Технологічний режим починається із того, що у продизинфіковані і прогріті сушильні камери завантажують підвішені на рамах ковбасні заготовки. Після закриття дверей і герметизації камер вмикається у роботу кондиціонер: вмикається двигун **М** приточного вентилятора **П** (рис.1.28), відкриваються заслінки подачі зовнішнього повітря, подається теплоносії у калорифер і холодоносії у повітроохолоджувач тощо.

Передбачається два режими роботи агрегату – зимовий і літній. За зимового

режиму зовнішнє повітря в об'ємі 10% від загальної кількості робочої повітряної суміші подається у камеру змішування, попередньо підігрівшись у калорифері першого підігріву **I**. В камеру подається також решта рециркуляційного повітря.

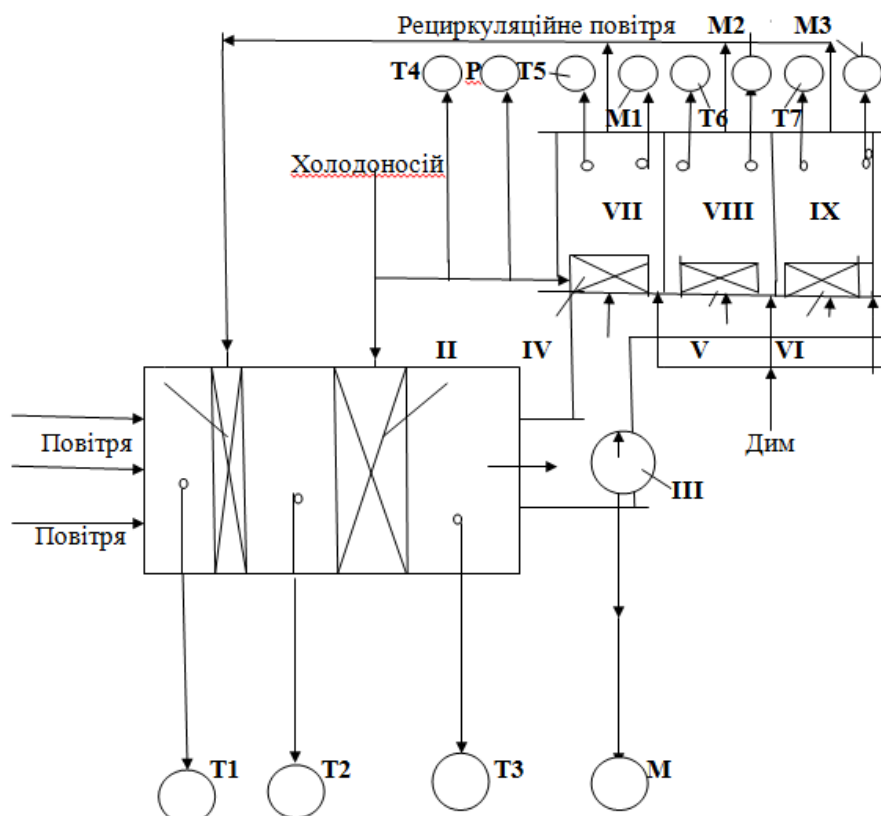


Рис.1.28. Спрощена схема агрегату для виробництва сирокочених ковбас

Температура газової суміші підтримується до **T2** і після **T3** охолоджувача дією автоматичних регуляторів на витрати відповідних теплоносіїв. В залежності від технологічного режиму передбачаються три значення відносної вологості повітря в камерах: 90%, 75% або 60%. Точність регулювання вологості $\pm 5\%$. Перемикання з одного режиму регулювання відносної вологості на інший здійснюється оператором за допомогою задатчика регулятора. За першого режиму підтримується температура після повітроохолоджувача $10,2^{\circ}\text{C}$, за другого $8,5^{\circ}\text{C}$ і за третього 5°C .

Повітря із охолоджувача **II** подається через калорифери другого підігріву **IV**, **V**, **VI** у сушильні камери **VII**, **VIII** і **IX**. Задане значення температури для сушильних камер дорівнює 12°C . Точність регулювання в камерах $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

За літнього режиму роботи регулювання температури повітря після калорифера **I** вимкнений. Зовнішнє повітря подається в камеру змішування далі проходить сухий повітроохолоджувач **II** без підігрівання. Подальша робота системи така ж, як за зимового режиму роботи. Температура повітряної суміші після охолоджувача **II** повинна бути 14°C , що реалізується пропорційним регулятором, який діє на витрату холодоносія.

Для регулювання температури в сушильних камерах у кожній із них установлені по чотири датчика температури, які працюють з одним вимірювальним і позиційно регулюючим приладом, що підвищує достовірність

результатів вимірювань

Продуктивність вентилятора може змінюватись з частотою обертання вала двигуна **М** (див. рис.1. 28): 1500, 1000, 750 хв⁻¹.

Контроль за температурою до і після калорифера **I**, у камері змішування (після охолоджувача **II**), холодоносія, у сушильних камерах здійснюється термометрами **T1...T7**; вологості у сушильних камерах – вологомірами **M1,M2,M3**. Для обеззаражування повітря, що подається у сушильні камери, використовують спеціальні фільтри.

Контрольні запитання

1. Які основні процедури виконуються за переробки свиней у шкурі ?
2. Як відбувається приготування м'ясного фаршу ?
3. Поясніть технологію приготування варених і напівкопчених ковбас.
4. Які особливості приготування сирокочених ковбасних виробів ?
5. Властивості печей та термоагрегатів для запікання м'ясних виробів.

2. ХЛІБОПЕКАРЬСКЕ ВИРОБНИЦТВО.

2.1. Вступ.

Хліб – один з основних продуктів харчування людини. Потреба в ньому становить від 300 до 500 г на добу, залежно від віку людини, характеру праці, національних особливостей та економічних факторів. В Україні щороку виробляється близько 7 млн. тон хліба та хлібобулочних виробів, або 130 кг на душу населення. Цінність хліба в тому, що він містить майже всі поживні речовини, необхідні людині. При правильній технології виробництва вся маса хліба (100 %) є їстівною. Майже половину його сухих речовин становлять вуглеводи (45 – 55 %), з яких основним є крохмаль. Залежно від сорту борошна хліб містить 5 – 8 % білків. За рахунок житнього і пшеничного хліба людина задовольняє свою потребу в білках на 25 – 30 %, у вуглеводах – на 30 – 40 %.

Біологічна цінність хліба залежить від повноцінності білків, вмісту в ньому вітамінів, зольних елементів тощо. В 100 г хліба міститься 5 – 8 г білка. Фізіологічна цінність білків хліба з борошна вищих сортів становить 20 – 25 % норми. Важливим показником біологічної цінності хліба є вміст у ньому вітамінів. Хліб – основне джерело вітамінів групи В, РР, Е. З мінеральних речовин у ньому є фосфор, кальцій, залізо, магній та ін. За вмістом вітамінів і зольних елементів хліб з низькосортного борошна, і особливо оббивного, переважає хліб, випечений із борошна вищих сортів. Хліб відрізняється від багатьох інших продуктів харчування тим, що добре засвоюється організмом. Це пояснюється тим, що він має пористу, м'яку, еластичну та нелипку м'якушку, в якій містяться денатуровані білки, частково клейстеризований і розчинений крохмаль, сильно розм'якшені оболонкові часточки зерна. Тому всі компоненти хліба легкодоступні для дії ферментів травного каналу. Виробництво хліба почалося давно (10 – 15 тис. років тому), коли людина почала вирощувати злакові культури.

2.2. Технологія виготовлення хліба: від зерна до хлібини.

Весь технологічний процес виготовлення хліба: з посіву зерна до випікання хліба зображений на рис. 2.1.

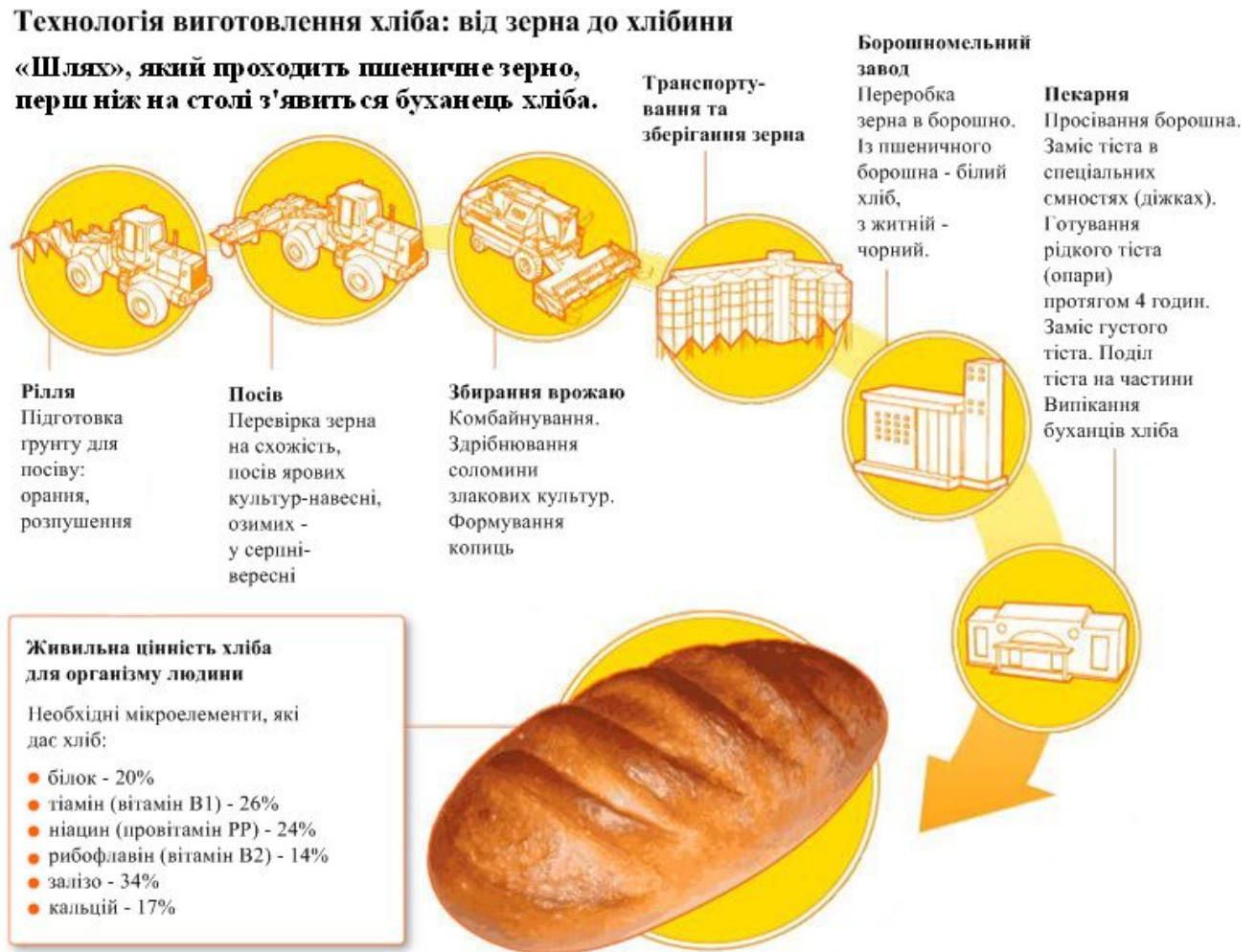


Рис. 2.1. Технологія виготовлення хліба: від зерна до хлібини.

2.3. Будова зерна пшениці.

Зерно пшениці та жита складається з декількох анатомічних частин – оболонки, ендосперму і зародка, які характеризуються різними фізіологічними функціями і в зв'язку з цим мають різну будову і хімічний склад.

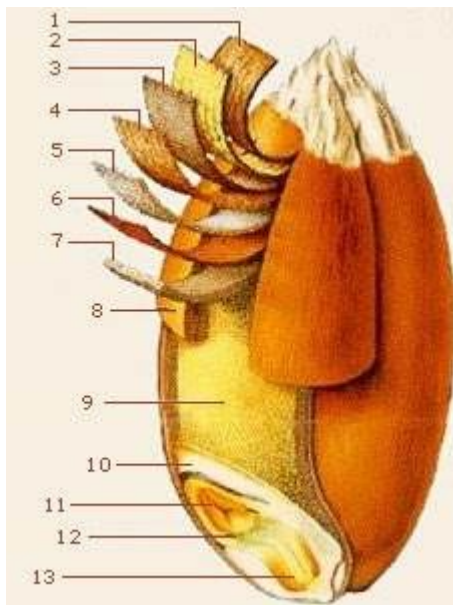


Рис. 2.2. Поздовжній розріз зерна пшениці.

Зерно пшениці (рис. 2.2) складається з наступних елементів:

- 1,2,3 – плодові оболонки;
- 4,5,6 – насінні оболонки;
- 7 – алейронова оболонка;
- 8 – шари клітин плодової оболонки пшениці;
- 9 – ендосперм;
- 10 – щиток;
- 11 – бруньки;
- 12 – осьова частина зародка;
- 13 – корінець.

Близько 4/5 маси зернинки становить ендосперм. Це характерно для більшості злаків – пшениці, жита, вівса, ячменя та ін. Співвідношення інших частин коливається залежно від ряду факторів. Наприклад, зміст оболонок зернинки жита вище, чим у пшениці, а у твердої пшениці вище, чим у м'якої.

Зерно пшениці і жита має складний хімічний склад. При оцінці технологічних і живильних властивостей зерна немаловажне значення має кількісне співвідношення анатомічних частин – зародка, оболонок і ендосперму.

Оболонки, що полягають в основному з не засвоюваних людським організмом речовин, не мають харчової цінності. Це баласт, який сприяє виведенню з організму важких металів і токсинів.

Зародок містить багато повноцінних білкових речовин, жирів, вуглеводів, а також вітамінів, але при сортовому перемелюванні борошна зародок видаляється.

Для виготовлення сортового борошна використовуються не всі частини зернини, а переважно ендосперм, і невеликий відсоток здрібнених частин зерна – алейронового шару і оболонок.

Найбільше значення, як джерела поживних речовин має ендосперм, тому можливість відділення його ендосперму від оболонок і зародка становить практичну цінність. Ендосперм складається з багатьох життєво необхідних людині елементів, таких як: білки, вуглеводи, ферменти, вітаміни, мінеральні речовини та ін.

Ендосперм – джерело білків і крохмалю. Зі злакових культур найбільш багато білків в зерні пшениці 11-18%, жита 9-14%. Білкові речовини в зерні пшениці утворюють в борошні клейковину. Цінується борошно з високою клейковиною, тому що тісто з такого борошна виходить пружним, легко формується, не прилипає.

Крохмаль утримується в клітках ендосперму у вигляді крохмальних зерен. Він є найважливішим джерелом вуглеводів в зерні, а вуглеводи в живому організмі – джерело енергії, необхідної для біохімічних процесів організму.

Разом з білками (клейковиною) ця речовина визначає консистенцію тіста і смак хліба. У борошні втримується до 80% крохмалю. При випічці крохмаль клейстеризується, зв'язуючи утворюючи суху еластичного м'якушку.

Кількість і співвідношення різних груп вуглеводів впливають на технологічні властивості зерна, на якість хліба, тому що цукру і крохмаль необхідні для розвитку дріжджів у тісті, а крохмаль разом з білками становить формуючу основу тіста.

З найпростіших цукрів у складі зерна найбільше значення мають глюкоза і фруктоза. Борошно може мати високу, нормальну або низку цукроутворюючу здатність. При утворенні тіста глюкоза зброджується дріжджами, виділяючи вуглекислий газ, який при випічці хліба сприяє утворення пористості.

Жири – важливий енергетичний матеріал для організму людини і носій розчинних у жирах вітамінів А, D, Е, К. Крім цих вітамінів борошно, а отже і хліб є джерелом водорозчинних вітамінів В1, В2, РР, необхідних у харчуванні людини.

Ферменти виконують функцію регуляторів біохімічних процесів – обміну речовин в організмі.

Зерно м'якої пшениці по своєму хімічному складу і високій калорійності є чудовою сировиною для виробництва борошна і готування з нього печеного хліба.

2.4. Зберігання зерна.

Після збору врожаю отримане зерно направляють на зберігання. Зібране зерно зберігають в силосах.

Силос – склад для зберігання сипучих матеріалів, таких як цемент, пісок, зерно, комбікорм, гранули і т.п.

Силос являє собою ємність циліндричної форми з конічним днищем. За рахунок вертикального розташування силосу досягається значна економія площі, незважаючи на значні обсяги сировини, що зберігається. Не менш значимою перевагою силосу перед звичайними складами є забезпечення підвищеного рівня захищеності збереженого сировини від впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища (вогкості, дощу, снігу).

Вивантаження зерна із силосу з плоским днищем проводиться через люк вивантаження, що знаходиться у днищі силосу та за допомогою стрічкового або ланцюгового транспортера, який установлюваний уздовж осі силосу. Доочищення ємності від залишків зерна проводиться транспортером, який установлюється в спеціальних каналах, утворених у бетонному днищі.

Завантаження зерна в силос відбувається за допомогою завантажувального механізму – норії, яка подає зерно в люк для завантаження, що знаходиться на даху силосу. В залежності від кількості силосів норія може переміщуватися від одного силосу до іншого.

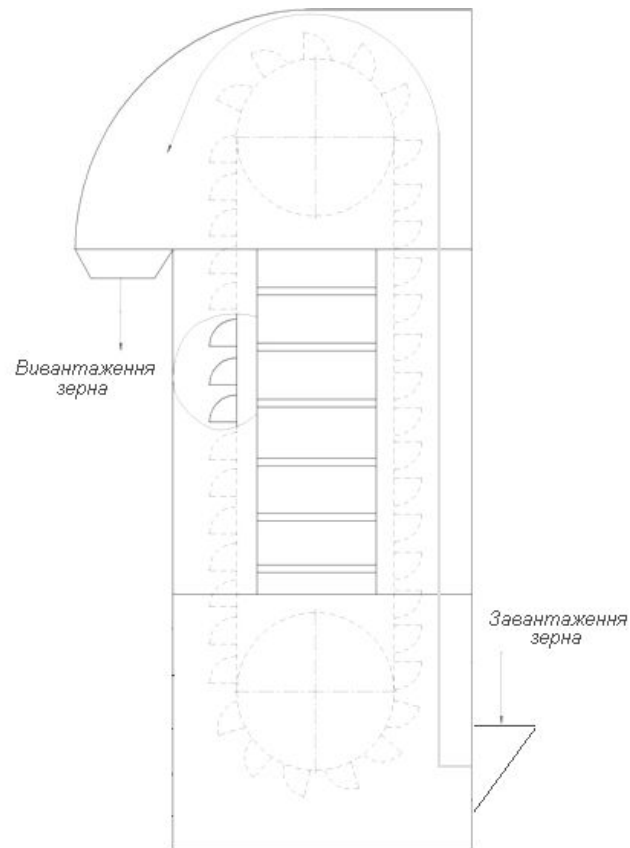


Рис. 2.3. Норія – механізм для завантаження зерна.

На великих підприємствах для зберігання зерна використовують силоси елеваторного типу (рис. 2.4).

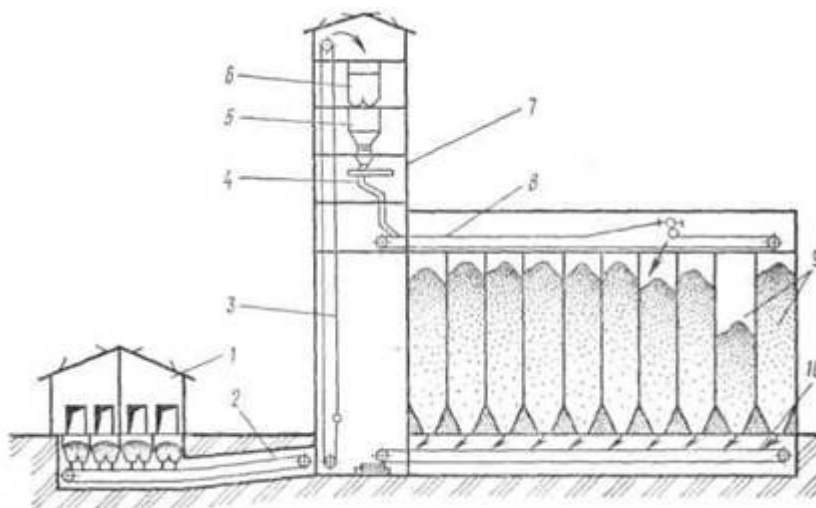


Рис. 2.4. Елеватор.

Такий елеватор складається із прийомного відділення 1, робочої вежі 7 і блоку силосів 9. Ємності для зерна роблять круглого, квадратного або

прямокутного перерізу із залізобетону висотою 10-30 м, встановлюють їх у кілька рядів. Силоси заповнюють зерном. Зерно, що поступає завантажується в бункери, транспортером 2 і норією 3 подається у верхню точку робочої вежі в бункер 6, потім зважується на вагах 5 і через трубу 4 надходить на надсилосний стрічковий транспортер 8. За допомогою завантажувального механізму зерно із транспортера завантажується в силоси.

При необхідності перекидання зерна з одного силосу в інший або при відправленні на виробництво зерно із силосу самопливом надходить на стрічковий підсилосний транспортер 10, норією 3 піднімається нагору і через ваги подається в потрібний силос.

2.5. Переробка зерна в борошно.

З силосів зерно направляється на борошномельний завод для отримання борошна.

Процес одержання борошна складається з підготовки зерна до млина: видалення домішок, очищення поверхні зерна, кондиціонування зернової маси і самого млина.

У технологічному процесі при переробці зерна враховують різну харчову цінність частин зерна і, використовуючи різні властивості цих частин, при сортових млинах, формують сорт борошна.

На рис. 2.5 зображена технологічно-апаратурна схема борошномельного заводу.

Попередньо очищене зерно подають із елеватора на борошномельний завод ланцюговими конвеєрами 1 і завантажують у силоси 2. Силоси обладнані датчиками верхнього і нижнього рівнів, які пов'язані із центральним пунктом керування. Зерно з кожного силосу випускають через самопливні труби, обладнані регуляторами потоку зерна 3. За допомогою регуляторів і гвинтового конвеєра 4 відповідно до заданої рецептури і продуктивності формують млині партії зерна.

Кожний потік зерна проходить магнітні сепаратори 5, підігрівник зерна 6 (у холодну пору року) і ваговий автоматичний дозатор 7. Далі зерно піддають багатостадійному очищенню від домішок. В зерноочисному сепараторі 8 відокремлюють великі, дрібні і легкі домішки. В машині для відділення каміння 9 виділяють мінеральні домішки. Потім зерно очищається в дискових трієрах: від насіння куколю в куколевідбірнику 10 і від насіння вівсюга в вівсюговідбірнику 11 (кукіль і вівсюг – рослини, що відносяться до бур'яну), а також у магнітному сепараторі. Зовнішню поверхню зерна очищають у вертикальній оббивальній машині 12, а за допомогою повітряного сепаратора 13 відокремлюють пил.

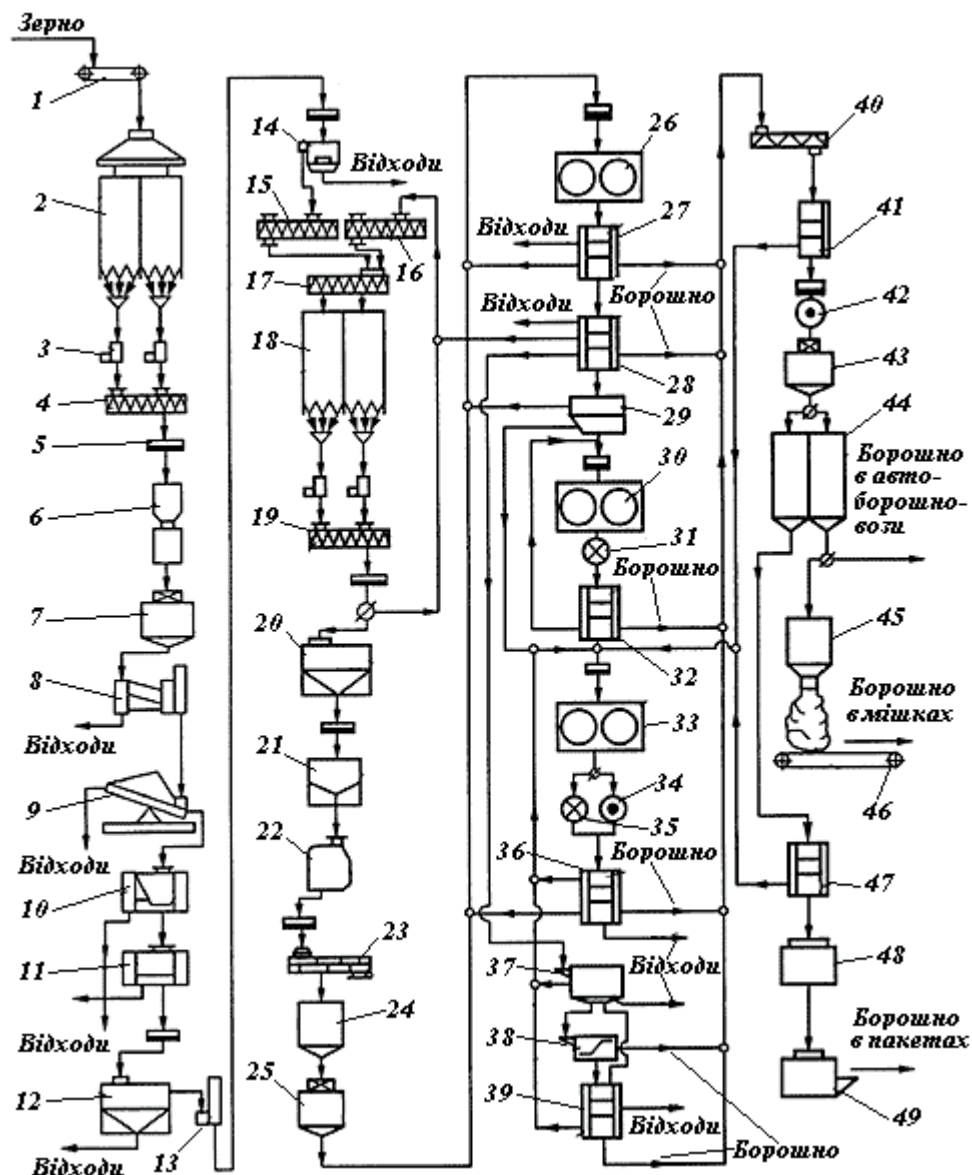


Рис. 2.5. Апаратурно-технологічна схема борошномельного заводу.

Далі зерно через магнітний сепаратор попадає в машину мокрого лущення 14 і після гідрообробки системою гвинтових конвеєрів 15 і 17 зерно розподіляється по силосам 18 для відволоження (відволоження – процес поглинання зерном води). Силоси обладнані датчиками рівня зерна, які пов'язані із центральним пунктом керування. Система розподілу зерна по силосам забезпечує необхідні режими відволоження з різною тривалістю і розподілом потоків залежно від скловидності (скловидність зерна – показник для оцінки вмісту в зерні білків, борошномельних та хлібопекарських властивостей) і вихідної вологості зерна. Після основного зволоження і відволоження передбачена можливість повторення цих операцій через зволожувальний апарат 16 і гвинтовий конвеєр 17.

Після відволоження зерно через регулятор витрати, гвинтовий конвеєр 19 і магнітний апарат надходить в оббивальну машину 20 для обробки поверхні. Із цієї машини зерно через магнітний апарат попадає в ентолейтор 21 (ентолейтор – апарат для стерилізації зерна шляхом ударних впливів), а потім у повітряний сепаратор 22 для виділення легких домішок. Далі через магнітний апарат його

подають в зволожувальний апарат 23 і бункер 24 для короточасного відволоження. Потім зерно зважують на автоматичному ваговому дозаторі 25 і через магнітний апарат направляють на здрібнювання в першу борошномельну систему.

У борошномельну систему входять вальцеві станки 26 (станки для перемолу зерна), просіви 27, просіви сортувальні 28 і сито 29.

Значне місце в борошномельному виробництві займають процеси поділу продуктів подрібнення зерна. Спочатку їх просівають на просівах 27 і поділяють на кілька фракцій, що відрізняються крупністю частинок. Потім проводять сортування фракцій на сортувальних просівах 28 за якістю, тобто поділяють на частки, з чистого ендосперму, і частинки у вигляді зростків ендосперму з оболонкою. Таку операцію називають збагаченням крупок і дунст (проміжні по крупності продукти між крупою і борошном). Для збагачення застосовуються сито 29, що сортують сипучі суміші по геометричних і аеродинамічних характеристик частинок. У цих машинах для сортування по геометричних ознаками (крупності) служать сита, а по аеродинамічним – потоки повітря.

Частину відсортованого після сит 29 направляють у машину 37 для млина, а потім у центрифугах 38 для відділення борошна від продуктів здрібнення.

Іншу частину після сортування на крупки та дунст піддають подальшому подрібненню на розмельних вальцових верстатах 30 і 33. Параметри робочих органів верстатів і режими їх роботи залежать від розмірів частинок.

У розмеленому процесі застосовують двоетапне здрібнювання. Після вальцових верстатів 30 і 33 установлені деташери 31 та 35 і ентолейтори 34. В них вихідний продукт піддають стиранню і удару, в результаті чого порушуються молекулярні сили зчеплення між ендоспермом і оболонкою. Відбувається відділення ендосперма (у вигляді борошна) від інших оболонок зерна.

У просівах 32, 36 і 39 із продуктів здрібнювання висівають борошно, яке надходить у гвинтовий конвеєр 40. З нього борошно подають у просіви 41 на контроль, щоб забезпечити відділення сторонніх часток і необхідну крупність млина. Далі борошно через магнітний апарат, ентолейтор 42 і ваговий дозатор 43 розподіляють у функціональні силоси 44. З них забезпечується безтарна відпустка готового борошна на автомобільний і залізничний транспорт або за допомогою вагового обладнання 45 борошно фасують у мішки, які конвеєром 46 також передають на транспорт для відвантаження на підприємства-споживачі борошна. Перед упаковуванням у споживчу тару борошно попередньо просівають на розсіві 47, упаковують у паперові пакети на фасувальній машині 48. Пакети з борошном групують у блоки, які загортають у полімерну плівку на машині для групового упаковки 49. Отримані блоки з пакетів з борошном передають на транспортування в торговельну мережу.

2.6. Характеристика борошна при виробництві тіста.

Хлібопекарські властивості борошна обумовлюються сукупністю таких показників:

- сила борошна (якість клейковини);
- кількість клейковини;
- газоутворююча здатність;
- автолітична здатність;
- колір борошна і здатність його темнішати у процесі виробництва хліба
- крупність частинок борошна;
- водопоглинальна здатність.

Газоутворююча здатність борошна характеризується кількістю вуглекислого газу, що виділяється за певний період часу при бродінні тіста, замішаного з певної кількості води і дріжджів. Вона зумовлена вмістом у ньому власних цукрів та цукроутворюючою властивістю. Відомо, що цукри в зерні розподіляються нерівномірно. У центральній частині (ендоспермі) зерна їх значно менше, ніж у зародку, оболонках та алеїроновому шарі з прилеглим до нього зовнішнім шаром ендосперму. Тому чим менший вихід даного сорту борошна, тим менше в ньому часточок периферійних шарів зерна та цукрів. Загальний вміст у пшеничному борошні зброджувальних дріжджами цукрів, залежно від складу зерна і виходу борошна, становить 0,7 – 1,8 % сухої речовини у вигляді переважно сахарози.

Цукроутворююча здатність борошна – це властивість приготовленої з нього водно-борошнистої суміші утворювати за відповідної температури і за певний час певну кількість мальтози, яка зумовлює дію амілолітичних ферментів борошна на крохмаль. Вона залежить як від кількості амілолітичних ферментів (а-амілази), так і від розмірів, характеру складових частинок борошна та крохмальних зерен у цих частинках.

У нормальному, непророслому зерні міститься достатня кількість а-амілази, тому цукроутворююча здатність борошна з нього залежить від доступності дії ферментів на крохмаль, що міститься в борошні. Доступність («атакованість») борошна для дії ферментів залежить переважно від стану його часточок. Чим вони дрібніші і чим краще подрібнені, тим доступніші для дії на них а-амілази. Встановлено, що в газоутворенні, що відбувається під час бродіння тіста, беруть участь як власні цукри борошна, так і ті, що утворюються в тісті. Однак власні цукри борошна відіграють важливу роль тільки на початку бродіння тіста, тоді як успіх хлібопечення зумовлюється газоутворенням наприкінці бродіння, під час розстоювання тіста та на початку випікання хліба. Газоутворююча властивість борошна впливає на об'ємний вихід, пористість та колір хліба.

На процес виробництва хліба, крім газоутворюючої здатності, значною мірою впливають структурно-механічні властивості тіста.

Властивість борошна утворювати після замішування, в процесі бродіння, а також розстоювання тісто з певними структурно-механічними властивостями умовно називають силою борошна. Сильним вважається борошно, яке здатне поглинати при замішуванні тіста нормальної консистенції відносно велику кількість води.

Найбільше впливають на структурно-механічні властивості тіста білки зерна. Крім білків на структурно-механічні властивості тіста впливають вміст у борошні (у пшеничному – близько 70 %) і стан крохмалю. Чим більше в борошні крохмалю, тим менше білкових речовин, тим слабкіше борошно. З

іншого боку, чим дрібніші крохмальні зерна, тим більша їх поверхня і тим більше води вони адсорбують при утворенні тіста. На структурно-механічні властивості борошна впливають також ліпіди, які зміцнюють структуру білків.

Споживач, як правило, звертає увагу на колір м'якушки хліба із сортового пшеничного борошна, віддаючи перевагу хлібу із світлішою м'якушкою, колір якої залежить від кольору борошна. Колір борошна визначається кольором ендосперму зерна, з якого змелене борошно, а також кольором та кількістю в борошні периферійних часточок зерна.

Хлібопекарські якості житнього борошна порівняно з якостями пшеничного мають ряд особливостей. У ньому на 10 – 15 % менше білків, які у звичайних умовах не утворюють клейковини. У білках житнього борошна більше водо- і солерозчинних фракцій, 50 – 52 % загальної маси яких може набухати.

Житнє борошно містить 80 – 85 % вуглеводів – крохмалю, цукрів, слизу, пентозанів і клітковини. Для нього характерні нижча температура клейстеризації крохмалю та більший вміст ферментів, що забезпечує інтенсивний процес цукроутворення в тісті. В'язкі властивості житнього борошна – результат набухання крохмалю та гідратації слизу. Слизи жита дуже гідрофільні, об'єм їх під час гідратації збільшується на 800 %. Підвищений вміст власних цукрів у житньому борошні завжди забезпечує його досить високу цукро- і газоутворюючу здатність.

Хліб із житнього борошна має менший об'єм, темну і більш липку м'якушку. Темний колір м'якушки зумовлюється вмістом у периферійній частині зерна жита ферменту поліфенолоксидази. При дії його на амінокислоту тирозин, яка у великій кількості є в житньому борошні, утворюються темнозабарвлені речовини – меланіни. Цінною особливістю житнього борошна є також підвищений вміст у ньому йоду і фтору.

2.7. Процес виробництва хліба.

Борошно доставляють на хлібозавод в автоборошновозах, що ухвалюють до 7...8 т борошна. Автоборошновоз зважують на автомобільних вагах і подають на розвантаження. Для пневматичного розвантаження борошна автомуковоз обладнаний повітряним компресором і гнучким шлангом для приєднання до прийомного щитка 8 (рис. 2.6). Борошно з ємності автоборошновоза під тиском по трубах 10 завантажують у силоси 9 на зберігання.

Додаткова сировина – розчин солі і дріжджову емульсію (рис. 2.7) зберігають у збірниках 20 і 21 (рис. 2.8).

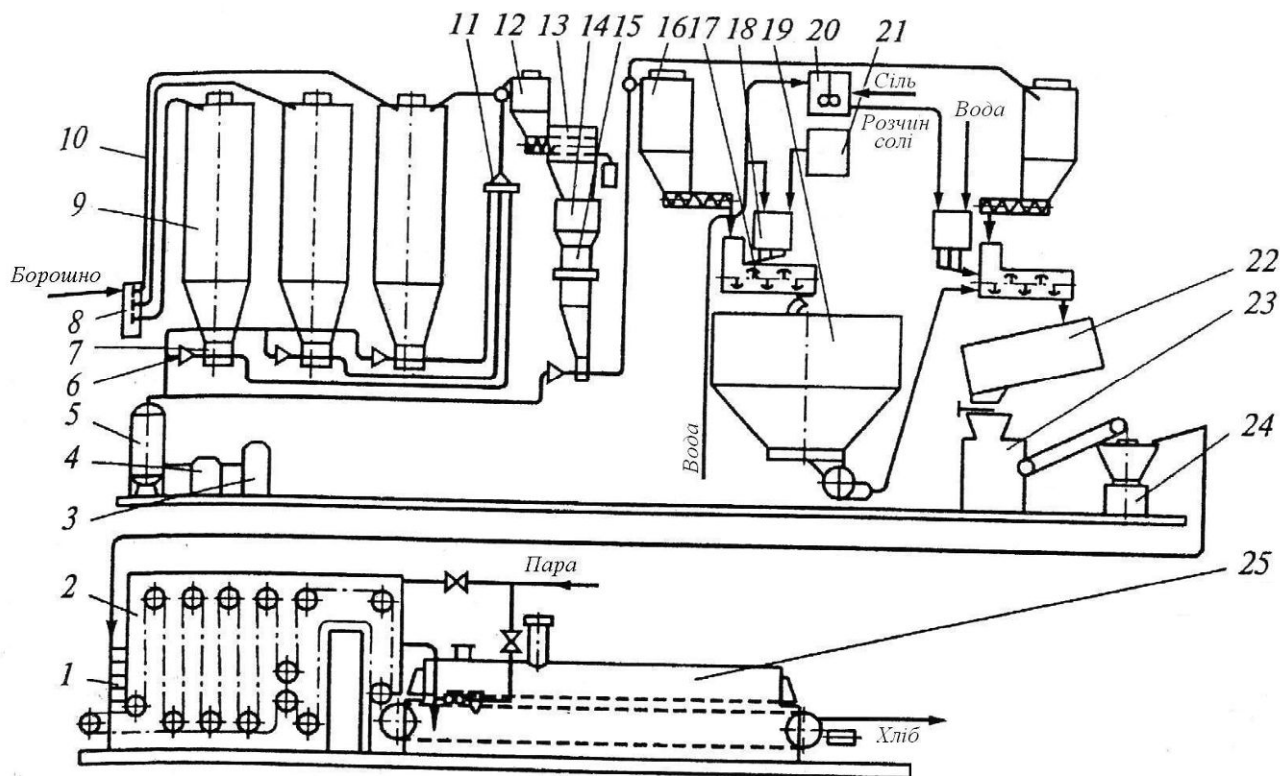


Рис. 2.6. Технологічно-апаратурна схема хлібзавода.

При роботі лінії борошно із силосів 9 вивантажують у бункер 12 із застосуванням системи аерозольтранспортування, який крім труб включає в собі компресор 4, ресивер 5 і повітряний фільтр 3.

Витрата борошна з кожного силосу регулюють за допомогою роторних живильників 7 і перемикачів 11. Для рівномірного розподілу стисненого повітря при різних режимах роботи перед роторними живильниками встановлюють ультразвукові сопла 6.



а) дріжджі;

б) дріжджова емульсія.

Рис. 2.7. Дріжджі і дріжджова емульсія.



Рис. 2.8. Збірники для зберігання розчину солі і дріжджової емульсії.

Програму витрати борошна із силосів 9 задає виробнича лабораторія хлібозаводу на основі досвіду випікання хліба із суміші борошна різних партій. Таке змішування партій борошна дозволяє вирівнювати хлібопекарські якості рецептурної суміші борошна, що надходить на виробництво. Далі рецептурну суміш борошна очищають від сторонніх домішок на просіювачі 13, в якому знаходиться магнітний уловлювач, потім його завантажують через проміжний бункер 14 і автоматичні ваги 15 у виробничі силоси 16.

У даній лінії для одержання гарної якості хліба використовують двофазний спосіб готування тесту – приготування тіста на опарі (див. пункт “**Методи приготування тіста**”). Перша фаза – готування опари, яку замішують у тістомісильній машині 17 (рис. 2.9). До неї подають борошно з виробничого силосу 16, також теплу воду і дріжджову емульсію через дозувальну станцію 18. Для замісу опари використовують від 30 до 70 % борошна. З машини 17 опару завантажують у ємності 19 (рис. 2.10) для бродіння.

Готове тісто вивантажується з ємності 22 у прийомну частину тістоділильної машини 23 (рис. 2.11), призначеної для одержання порцій тіста однакової маси (рис. 2.12). Після обробки порцій тіста в тістоокруглювачі 24 (рис. 2.13) утворюються тістові заготовки кулястої форми, які за допомогою маятникового укладальника 1 розкладають у гнізда кошиків шафи вистоювання 2 (рис. 2.14).



а) заміс тіста в тістомісильній машині; б) тістомісильна машина.
Рис. 2.9. Заміс тіста в тістомісильній машині.



Рис. 2.10. Ємності для бродіння.



а)



б)



в)



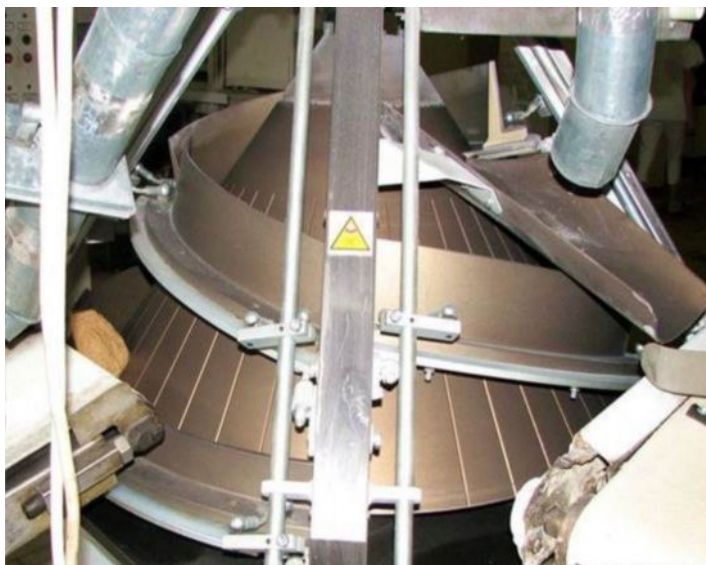
г)

Рис. 2.11. Процес вивантаження тіста в тістомісильну машину (а – г).



а) заготовка на виході тістоділильної машини; б) тістоділильна машина.

Рис. 2.12. Вихід тістових заготовок з тістоділильної машини.



а) процес округлювання тіста;
Рис. 2.13. Процес округлювання тіста.



б) тестоокруглювач.



Рис. 2.14. Шафа вистоювання.



а) тунельна піч;
печі;



б) випікання хліба в тунельній



в) хліб на виході з тунельної печі.

Рис. 2. 15. Піч тунельного типу.



а)



б)

Рис. 2.16. Апарат для нарізання хліба (а – б).



Рис. 2.17. Лінія упаковки.

Вистоювання тістових заготовок проводиться протягом 35 – 50 хв. При відносній вологості повітря 65 – 85 % і температурі 30 – 40 °С у результаті бродіння структура тістових заготовок стає пористою, обсяг їх збільшується в 1,4 – 1,5 рази, а щільність знижується на 30 – 40 %. Заготовки отримують рівну гладку еластичну поверхню.

Для запобігання виникнення при випічці в тістових заготовках тріщин – розривів верхньої кірки в момент перекладу заготовок в піч 25 (рис. 2.15) їх піддають надрізанню.

На вхідній ділянці пекарської камери заготовки 2 – 3 хв. піддаються гідротермічній обробці зволожуючим обладнанням при температурі 105 – 110 °С. В середній і вихідній ділянках тісто випікають при температурі 200 – 250 °С. У процесі руху в печі тістові заготовки послідовно проходять усі теплові зони пекарної камери, де випікають за проміжок часу від 20 до 55 хв., відповідно до технологічних вимог.

Випечений хліб холоне, потім частина хліба нарізається за допомогою апаратів для нарізання хліба (рис. 2.16) і потрапляє на лінію упаковки (рис. 2.17), а інша частина зразу надходить до лінії упаковки хліба. Упакований хліб завантажують в вантажні машини і розвозять по магазинам.

2.8. Методи приготування тіста.

Відомі два основні способи приготування тіста з пшеничного борошна: опарний (рис. 2.18) і безопарний (рис. 2.19). Структура хліба, його фізичні властивості, а отже, харчова цінність та якість значно залежать від того,

наскільки якісно приготоване тісто. З тугого, недостатньо розпушеного тіста, яке має погані фізичні властивості, низьку формоутримуючу здатність та слабку внутрішню структуру неможливо отримати хліб високої якості

Спосіб приготування тіста вибирають в залежності від виду продукції, що виробляється, сорту борошна, його хлібопекарських властивостей.

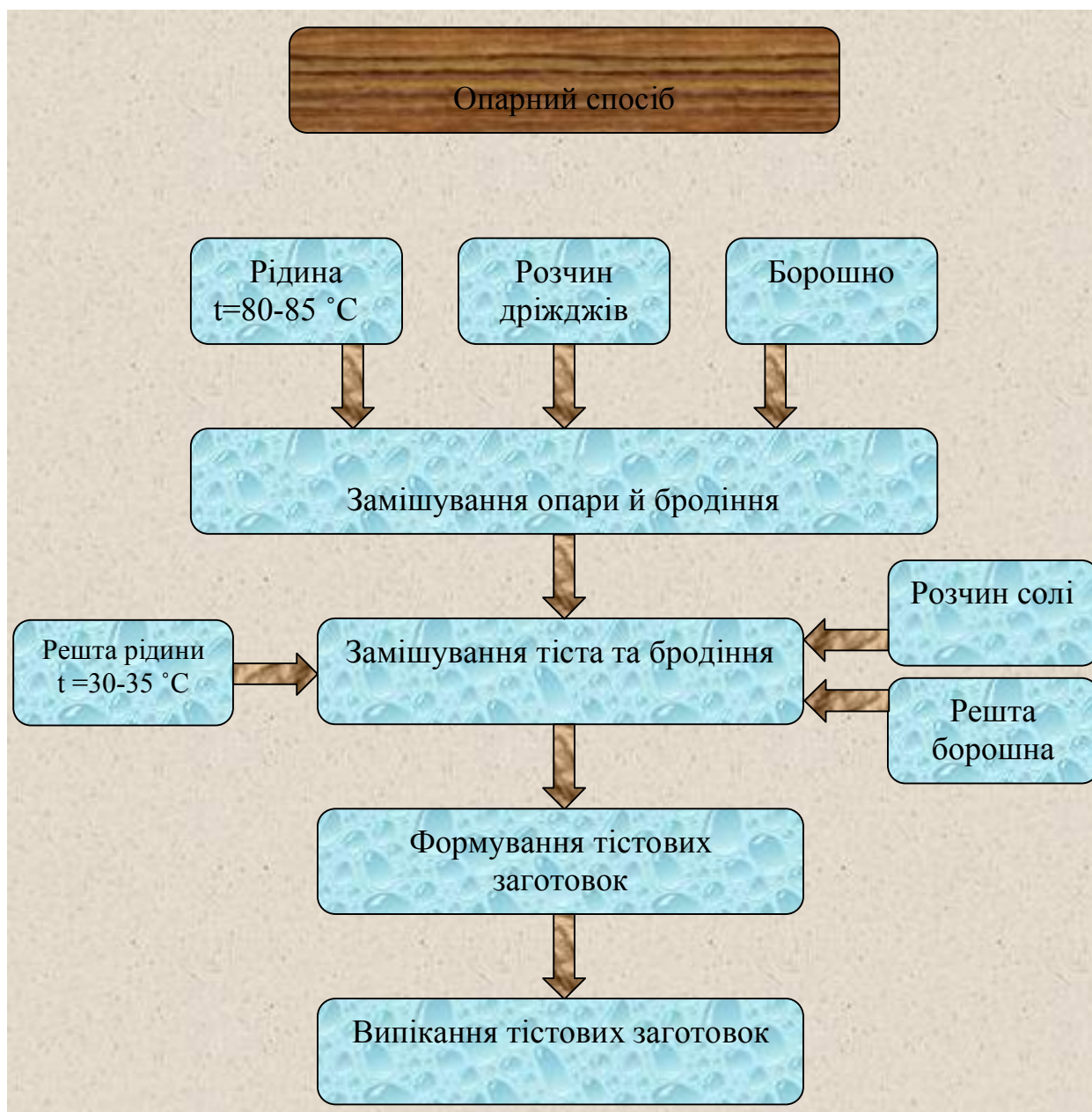


Рис. 2.18. Опарний спосіб приготування тіста.

Опарний спосіб має ряд переваг, порівняно з безопарним, а саме: зменшення витрати дріжджів та значна технологічна гнучкість, яка полягає в тому, що даний спосіб дозволяє, змінюючи технологічні параметри приготування опари і тіста, підібрати найбільш раціональний режим для переробки отриманого борошна залежно від його технологічних особливостей. При цьому є можливість коригувати співвідношення борошна в опарі та тісті, вологість опари та тіста, температуру та тривалість бродіння. Разом з тим, опарний спосіб має деякі недоліки: при приготуванні тіста потрібне дворазове

дозування сировини та дворазовий заміс опари і тіста, загальна тривалість бродіння опари та тіста, порівняно з безопарним способом приготування більша.

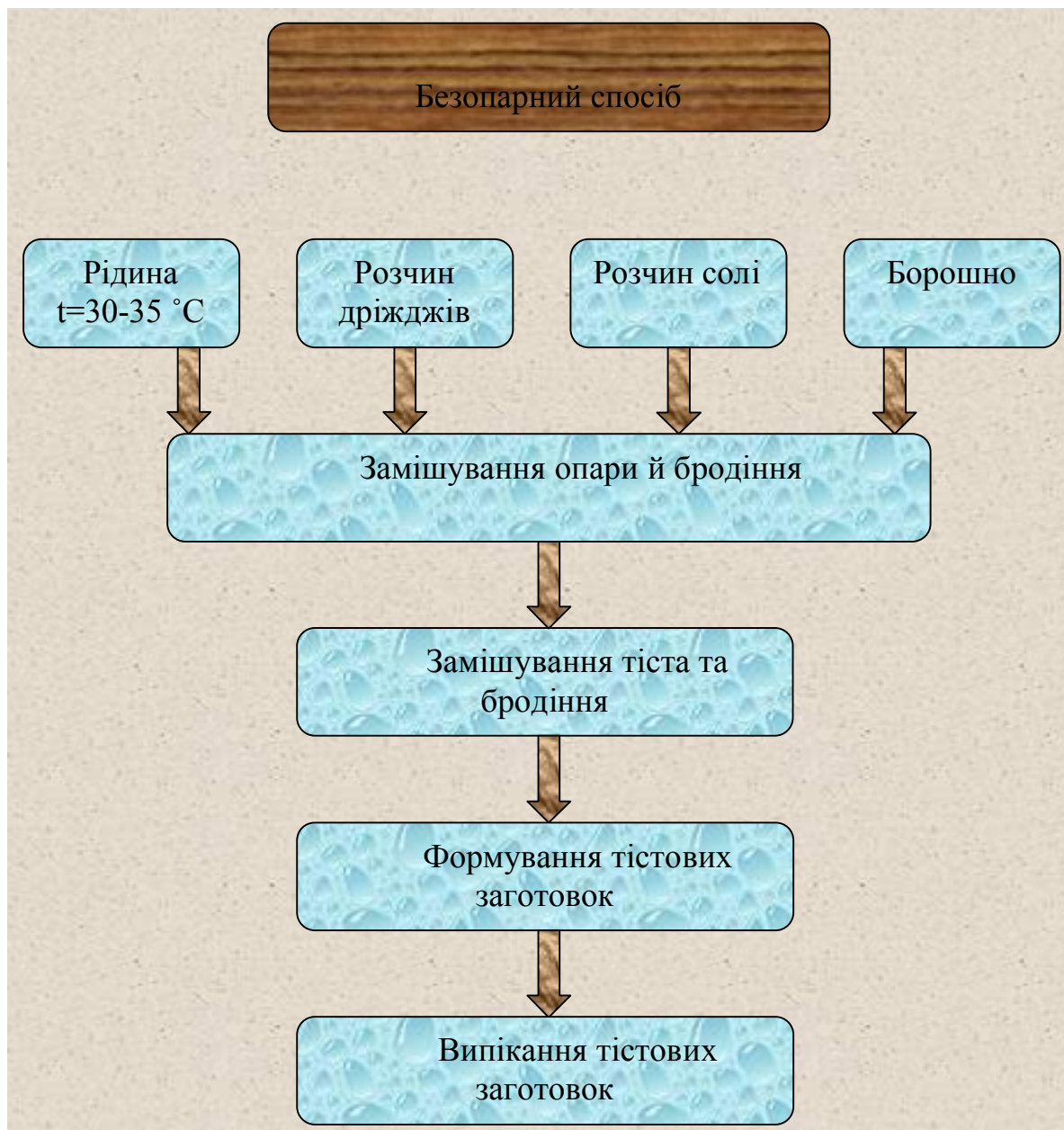


Рис. 2.19. Безопарний спосіб приготування тіста.

Тому втрати сухих речовин сировини на бродіння зростають, а вихід хліба зменшується на 0,5% порівняно з безопарним. Також опарний спосіб приготування тіста вимагає більшої кількості обладнання, дозувальної апаратури.

Вирішальним при виборі способу приготування тіста є смак готового виробу. Вважається, що при опарному способі приготування тіста вироби мають кращий смак та аромат, кращу пористість, ніж при безопарному. Ця думка базується на тому, що завдяки більшій тривалості бродіння опарного тіста в ньому накопичується більше ароматичних та смакових речовин.

Кращі фізичні властивості м'якушки зумовлені збільшенням ступеню набухання та пептизації колоїдів борошна, а також накопиченням кислоти при опарному способі приготування тіста.

Розглядається спосіб приготування тіста на рідкій опарі, так як при цьому полегшується механізація процесу приготування та транспортування опари, а разом з бродінням тіста в неперервно-діючих агрегатах вдається повністю автоматизувати всі процеси приготування тіста. До переваг рідких опар можна віднести ще й те, що бродіння в них відбувається більш рівномірно, їх можна перемішувати, а завдяки рухомості можна регулювати температуру за допомогою теплообмінників. На жаль, гостро стоїть проблема автоматичного дозування рідкої опари. Рідка опара має велику в'язкість і газові вклучення. На хлібо заводах дозування рідкої опари здійснюють в основному об'ємними черпаковими дозаторами, які мають низьку точність дозування і не мають можливості змінювати величину дози автоматично.

Основна задача, яка ставиться на етапі приготування опари – створити сприятливі умови для забезпечення процесів дозрівання тіста. Опарний спосіб передбачає дві фази: першу – приготування опари і другу – приготування тіста, включаючи в себе такі процеси: заміс і бродіння опари, заміс і бродіння тіста.

Для приготування опари зазвичай використовують 30 – 35% рецептурної кількості борошна, від 2/3 кількості води, повністю дріжджі, а також частину солі. Тривалість бродіння опари коливається звичайно в межах від 3,0 до 4,5 год. На готовій опарі замішують тісто. При замісі тіста вносять решту борошна, води і солі. Бродіння тіста триває від 0,8 до 1,7 год.

Основне призначення замісу опари полягає в отриманні максимальної гомогенності замішуваної маси борошна, води і дріжджів за можливо менший час. Мета процесу бродіння опари полягає в накопиченні органічних кислот, що впливають в кінцевому результаті на смакові якості хліба, активації і розмноженні дріжджових клітин, необхідних для достатнього розпушування тіста. На цьому етапі, для забезпечення потрібної пористості м'якушки хліба тісто розпушується вуглекислим газом, утвореним внаслідок спиртового бродіння, яке викликане внесеними в тісто дріжджами, що зброджують наявний в тісті цукор.

2.9. Критерії якості хліба.

Якість хліба формується низкою факторів (рис. 2.20), до яких відносять якість: нормативно-технічної документації, сировини, технологічного процесу і технологічного обладнання, культури виробництва, зберігання, транспортування і реалізації продукції, а також якістю її споживання. Порушення одного з цих факторів призводить до одержання недоброякісної продукції.

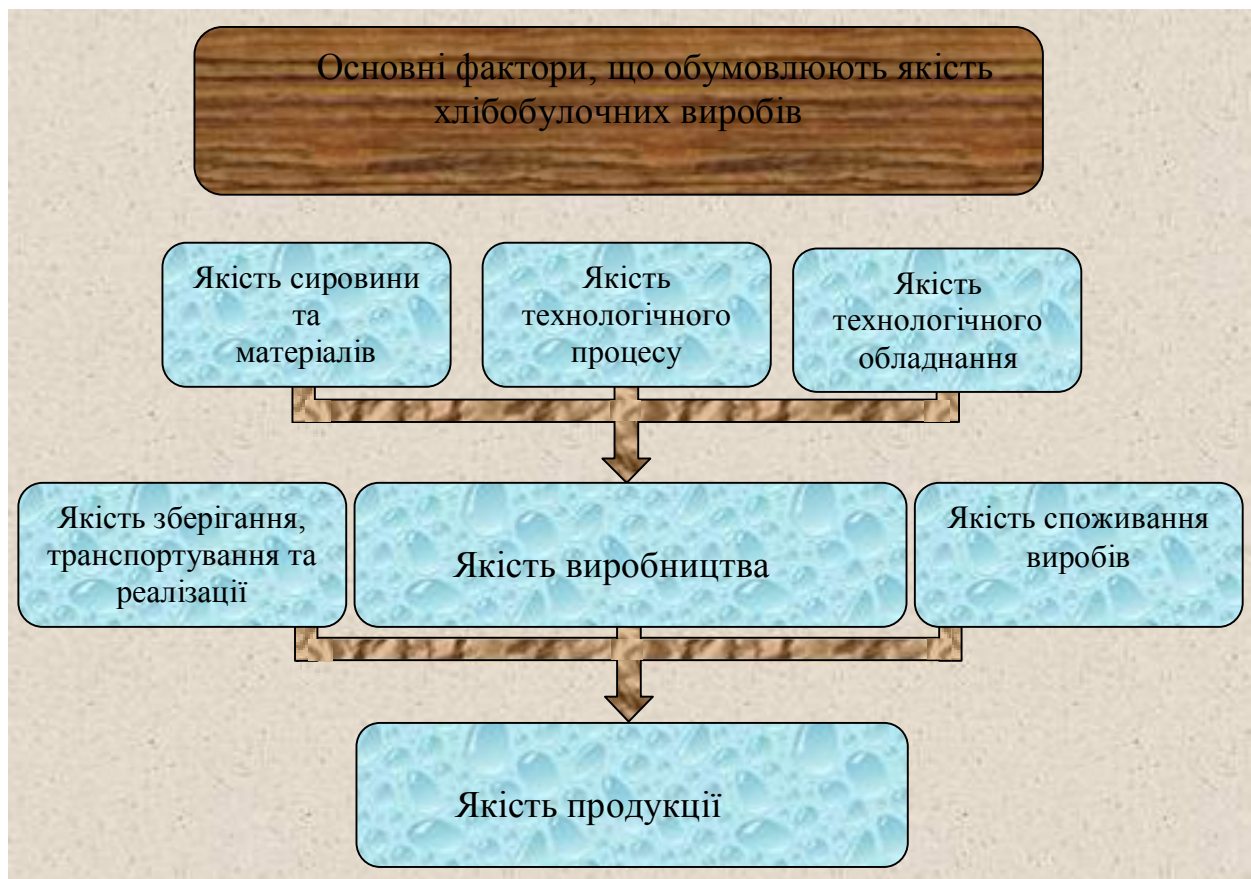


Рис.2.20. Основні фактори, що обумовлюють якість хлібобулочних виробів.

Безумовно, що визначальними факторами, які впливають на показники якості готової продукції є якість сировини і якість технологічного процесу.

Якість готової хлібобулочної продукції повинна відповідати вимогам нормативно-технічних документів (ДСТУ, ТУУ та ін.). У цих документах зазначені показники, що відображають якість виробів. Основними серед них є форма, колір, стан поверхні та м'якушки, вологість, кислотність, пористість, вміст цукру і жиру (для виробів, в рецептуру яких входять цукор і жир).

Для визначення показників якості застосовують органолептичні та фізико-хімічні методи аналізу (рис. 2.21). Органолептичними методами визначається форма хліба, його колір, стан поверхні та м'якушки, характер пористості, смак, запах, свіжість. Органолептичні показники якості характеризують термінами: колір «блідий», «золотисто-жовтий», «світло-коричневий», «темно-коричневий»; стан скоринки – «гладка», «нерівна», «з тріщинами», «з підривами»; колір м'якушки – «білий», «сірий», «темний»; пористість – «рівномірна», «нерівномірна», «мілка», «середня», «крупна», «тонкостінна», «товстостінна»; еластичність м'якушки – «хороша», «середня» або «погана», тобто м'якушка еластична, недостатньо еластична чи нееластична.

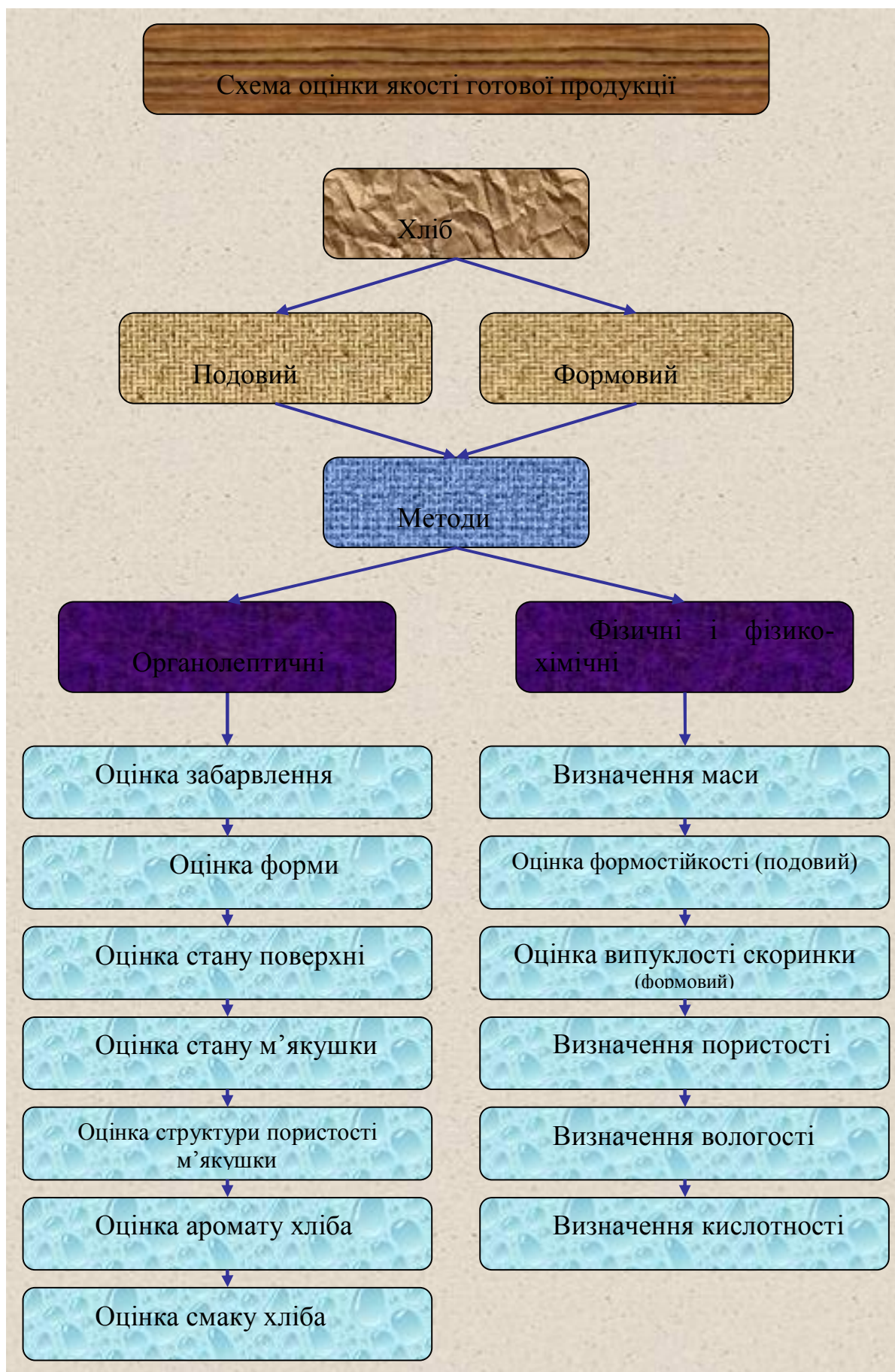


Рис. 2.21. Схема оцінки якості готової продукції.

Фізико-хімічними методами визначають вологість, кислотність, пористість хліба, вміст жиру і цукру у виробках, у рецептуру яких входить ця сировина. Для

штучних виробів нормується маса одного виробу. Для сухарів нормується також показник «набухання», а для бараночних виробів – «намокання».

Фізико-хімічні показники хліба визначають не раніше, ніж через 3 год. після виходу продукції з печі та не пізніше ніж через 48 год., якщо хліб виготовлений з обойних сортів борошна, або через 24 год., якщо з сортового.

З метою більш повної характеристики якості виробів визначають низку додаткових показників, не передбачених стандартом. Це питомий об'єм (об'єм 100 г виробів, см³/100 г), формостійкість подового хліба (відношення висоти виробу до його діаметру, Н/D), ступінь випуклості верхньої скоринки формового хліба, пропеченість м'якушки.

2.10. Аналіз хлібзавода, як об'єктів автоматизації.

Особливості підприємств хлібопекарської промисловості, як об'єктів автоматизації:

- основим видом сировини підприємств виробництва хліба є зерно, яке характеризується чотирма десятками параметрів якості, що постійно змінюють своє значення, це вимагає безперервного контролю на всіх стадіях роботи хлібзавода;
- підприємства хлібопекарської промисловості характеризуються специфічним галузевим обліком хлібопродуктів, пов'язаним зі зміною маси сировини в процесі зберігання в результаті зміни її вологості;
- твердий контроль якості хлібної продукції з боку державної хлібної інспекції;
- структура хлібопекарського виробництва має ієрархічний характер (продукція одного виробничого процесу є сировиною для інших галузей виробництва хлібопродуктів);
- можливість багатопотокового випуску продукції із сировини одного виду борошна;
- підприємства хлібопекарської промисловості є містобудівними, але відчувають гостру нестачу кваліфікованих кадрів, особливо в сфері інформаційних технологій.

Впровадження автоматизованої системи управління (АСУ) на підприємствах хлібопекарської промисловості забезпечує:

- ріст продуктивності, а також ефективності роботи підприємств галузі хлібопродуктів (сучасна система автоматизації є вирішальним чинником високої продуктивності роботи підприємства);
- більш інтенсивне використання встаткування підприємств хлібопекарської промисловості;
- економію електроенергії, палива основними технологічними лініями виробництва хлібопродуктів;
- підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів хлібозаводів;

- вивільнення, перерозподіл функцій виробничого і адміністративно-управлінського персоналу підприємств хлібопекарської промисловості;
- підвищення вірогідності інформації, а також її оперативності, що є важливим аспектом при прийнятті обґрунтованих управлінських розв'язків на підприємствах галузі хлібопродуктів.

Досвід впровадження, тенденції розвитку автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) хлібопекарської промисловості України, а також закордонних виробників хліба і хлібобулочних виробів переконливо довів високу ефективність комплексних інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ) хлібопекарської технології, на основі модульного принципу і розподілено-ієрархічної структури. Інтегроване керування виробництвом хліба ґрунтується насамперед на інформаційному зв'язуванні АСУ виробництвом хліба між рівнями управління (по вертикалі), а також між паралельно функціонуючими структурними елементами об'єктів управління (по горизонталі). Модульна побудова окремих підсистем (функцій) АСУ технології хліба дозволяє одержати типові розв'язки, що допускають її перетворення (адаптація, настроювання) для конкретного хлібного виробництва. Модульний підхід до розробки АСУ галузі хліба і хлібобулочних виробів приводить до високого ступеня уніфікації (усі модулі технічно, програмно, а також інформаційна зв'язані між собою). Головною вимогою при цьому є можливість кожного окремого модуля АСУ виробництва хліба і хлібобулочних виробів функціонувати автономно.

Отже, АСУ сучасного хлібопекарського підприємства повинна комплексно відражати всі сфери діяльності хлібозаводу: складський облік сировини, матеріальних засобів, продукції основного, а також допоміжного виробництв хлібозаводу, обліку якості сировини (продукції), фінансового обліку (аналізу), податкового (бухгалтерського) обліку, планування виробництва хліба і хлібобулочних виробів, фінансових результатів діяльності підприємства хлібопекарської промисловості. Сучасна АСУ хлібозаводу є багаторівневою, а також ієрархічною (по функціях управління, інформаційним моделям, структурам баз даних, архітектурі програмного забезпечення для оптимального функціонування хлібозаводу). Досягнення високих показників надійності функціонування АСУ галузі хліба відбувається шляхом обмеження прав доступу операторів до можливості змінювати окремих функції управління хлібопекарським виробництвом. Комплексна АСУ хлібопекарського підприємства забезпечує максимальний рівень автоматизації роботи користувачів, надає зручні інструменти конфігурування, а також керування, що дозволяють адаптувати АСУ до умов конкретного підприємства хлібопекарської промисловості. Методика проектування АСУ хлібопекарських підприємств включає обстеження об'єкта (хлібозаводу), визначення вимог до системи, аналіз існуючих методів і засобів проектування, наступну постановку бажаних цілей функціонування. При цьому розробляється архітектура системи, інформаційна модель функціонування об'єкта, система класифікації об'єктів обліку, управління і ідентифікації їх параметрів. Розробка інформаційної моделі АСУ

виробництва хліба включає проектування структури бази даних, проектування модулів, створення структури програмного забезпечення, інтеграція і тестування системи, впровадження АСУ підприємства галузі хлібобулочних виробів, супровід системи.

Використання запропонованої вище класифікації дозволяє керівництву підприємства ухвалювати обґрунтовані рішення при виборі конкретної системи автоматизації виробництва хлібобулочних виробів.

2.11. Особливості автоматизації дільниць хлібозаводу.

На *етапі підготовки сировини* до виробництва важливими параметрами є вологість борошна ($W_б$), сила борошна ($F_б$), водопоглинаюча здатність борошна (ВПЗ_б), густина рідких дріжджів ($\rho_{др}$), густина соляного розчину ($\rho_{с.р.}$), температура води ($t_в$), склад борошна ($Скл_б$) конструктивні особливості обладнання, що використовується ($M_о$), якість клейковин ($H_{стисн.}^{АП}$), кількість клейковини ($K_{сир.кл.}$), підйомна сила дріжджів ($ПС_{др.}$), кислотність дріжджів ($K_{др.}$), газоутворююча здатність борошна ($\Gamma_б$), кислотність борошна ($K_б$). На рис. 2.22 зображена схема ділянки прийняття борошна, та параметри для автоматизації.

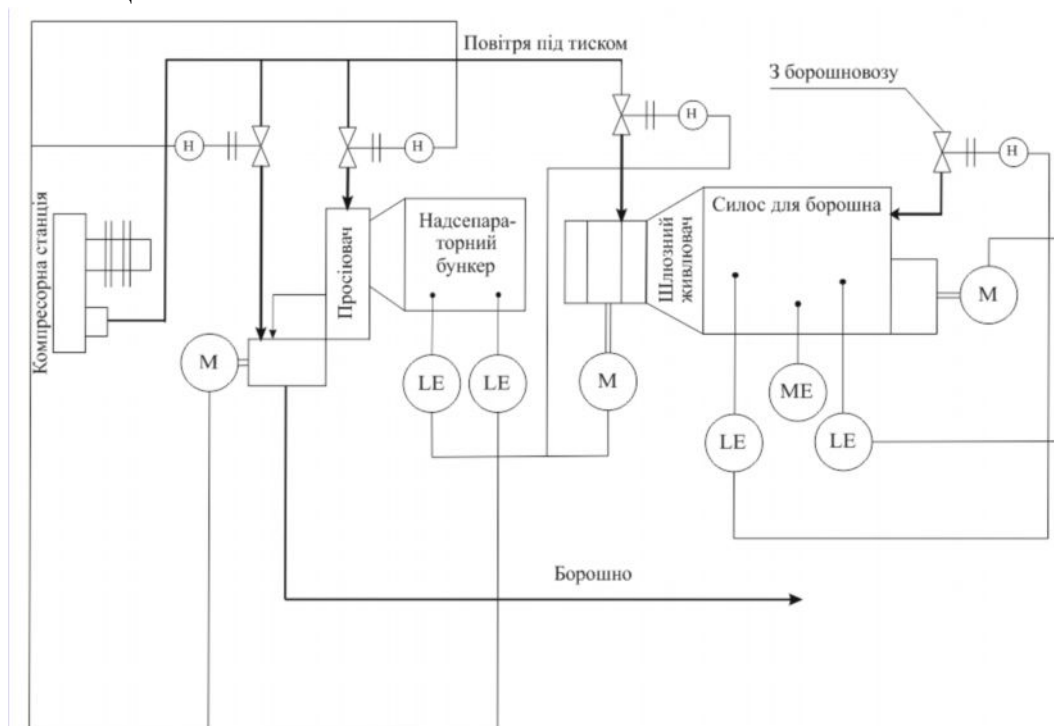


Рис 2.22. Схема ділянки прийняття борошна.

Витрата рідких дріжджів ($G_{др.}$), витрата соляного розчину ($G_{с.р.}$), витрата води ($G_в$), витрата борошна ($G_б$) є визначальними на *етапі дозування сировини* (рис. 2.23), де саме від точності дозуючого пристрою ($T_{д.п.}$) залежить продуктивність відділення та втрати.

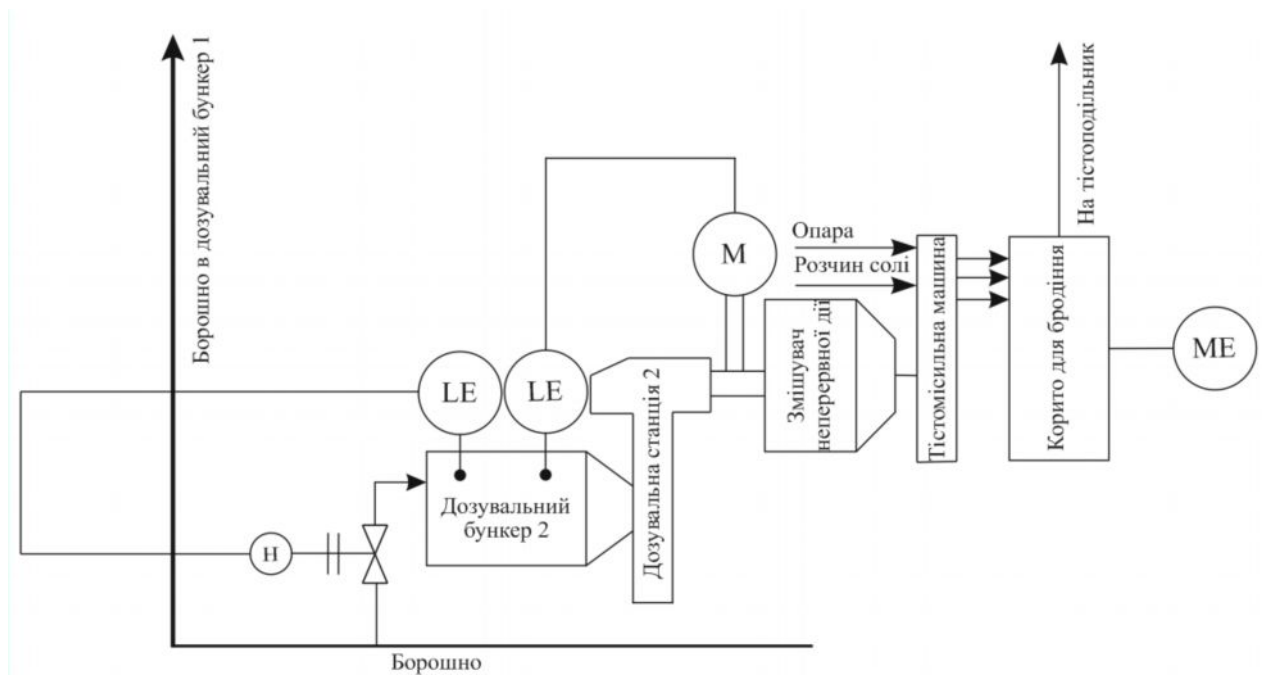


Рис. 2.23. Схема ділянки дозування сировини.

Процес *замісу опари* (рис. 2.24), окрім перерахованих вище показників характеризується: тривалістю ($\tau_{з.оп.}$) і інтенсивністю ($I_{з.оп.}$) замісу опари, вологістю опари ($W_{оп.}$), її густиною ($\rho_{оп.}$) та реологічними властивостями ($\eta_{оп.}$).

Процеси *бродіння опари* характеризуються тривалістю бродіння опари ($\tau_{бр.оп.}$), температурою опари ($t_{оп.}$), окисно-відновним потенціалом ($Eh_{оп.}(rH_{2оп.})$) опари, титрованою ($K_{оп.}$) і активною ($pH_{оп.}$) кислотністю, газоутворенням в процесі бродіння ($V_{CO_{2оп.}}$), втратами сухих речовин борошна при бродінні опари ($Bmp_{бр.оп.}$), підйомною силою опари ($ПС_{оп.}$), температурою навколишнього середовища ($t_{н.с.}$), продуктивністю тістомісильного обладнання (Q_T).

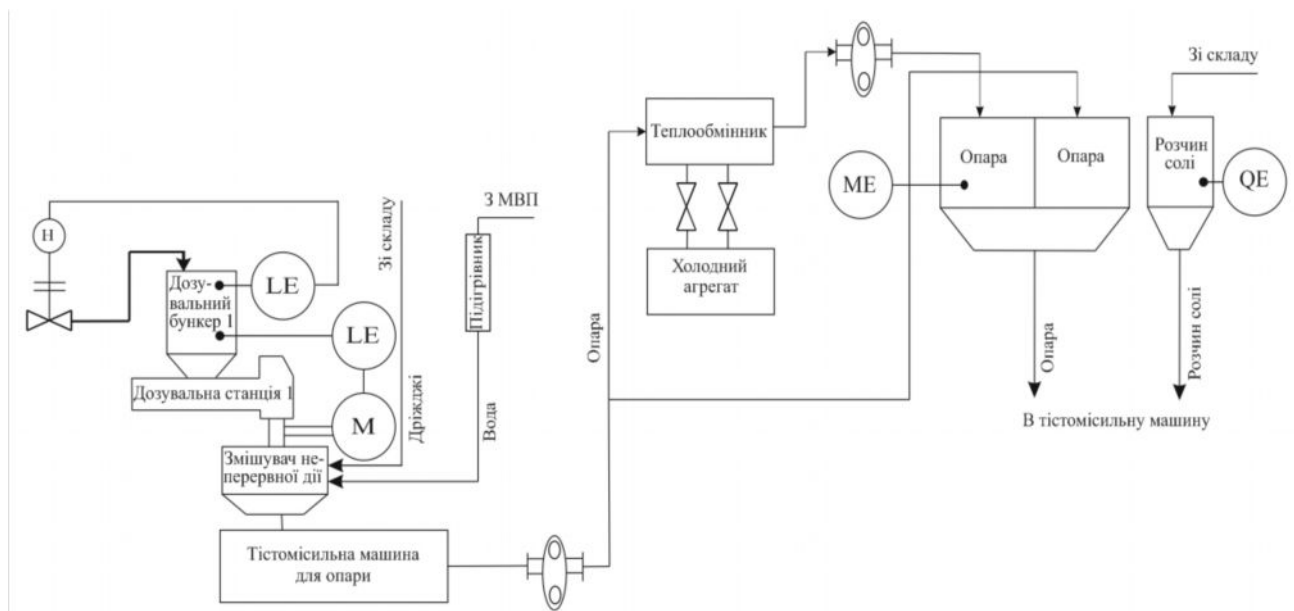


Рис. 2.24. Схема ділянки приготування опари.

Для етапу замісу тіста були виділені такі параметри: питома витрата енергії на заміс тіста ($A_{\text{п.т.}}$), тривалість замісу тіста ($\tau_{\text{з.т.}}$), інтенсивність замісу тіста ($I_{\text{з.т.}}$), вологість тіста ($W_{\text{т.}}$), температура тіста ($t_{\text{т.}}$), реологічні властивості тіста ($\eta_{\text{т.}}$), спосіб замісу ($C_{\text{з.т.}}$), тип тістомісильної машини ($M_{\text{т.м.}}$).

При замісі тіста найбільше значення мають фізичні, колоїдні і біохімічні процеси, а мікробіологічні, які пов'язані зі життєдіяльністю дріжджів і кислотоутворюючих бактерій борошна, ще не встигають досягти практично відчутної інтенсивності. При бродінні тіста, поруч з фізичними і колоїдними процесами, значного впливу набувають процеси спиртового і молочнокислого бродіння, процеси розмножування і метаболізму бродильної мікрофлори. Зазначені процеси не протікають відокремлено один від одного, а взаємодіють, надаючи тісту тих властивостей, які необхідні для отримання потрібних якісних показників готової продукції. Готове до оброблення, добре дозріле тісто повинно бути в достатній мірі розпушене, містити в собі потрібну кількість продуктів бродіння, які обумовлюють смак і аромат хліба, оптимальні фізичні властивості, забезпечуючи необхідну формо- і газотримуючу здатність тістових заготовок.

В міру виброджування тіста і опари збільшується титрована кислотність і знижується величина pH . Зміна кислотності залежить в першу чергу від сорту і складу борошна, кількості і якості внесених дріжджів, тривалості бродіння, температури і вологості напівфабриката.

Зміна вологості тіста значно впливає на потужність, затрачену на заміс тіста. Наприклад, при підвищенні вологості на 5% (з 37,6 до 42,6%) потужність, що витрачається на заміс зменшується в 2 рази. Отже, значення в'язкості та величини крутного моменту на валу тістомісильної машини досить чутливі до зміни вологості тіста. Схема автоматичного регулювання вологості на

тістомісильних апаратах неперервної дії, запропонована ВНДІХП, наведена на рис. 2.25.

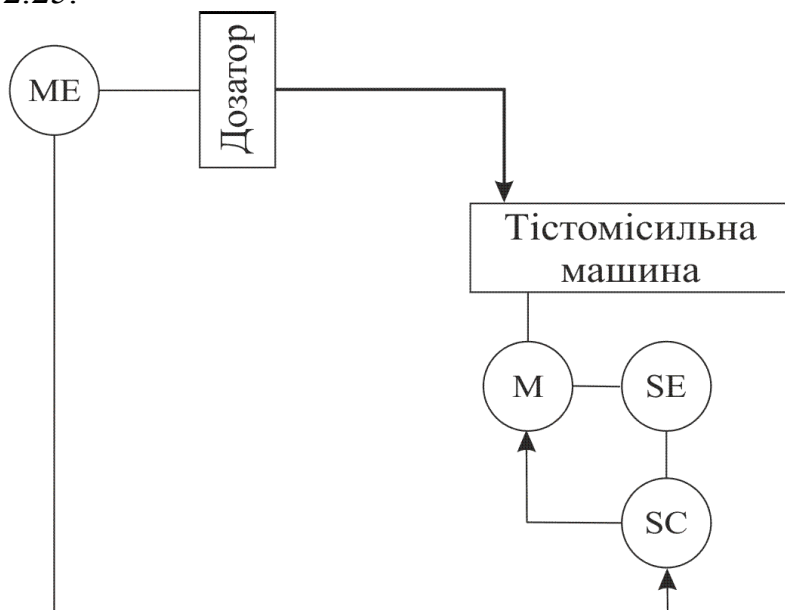


Рис. 2.25. Схема автоматичного регулювання вологості.

Процеси *бродіння тіста* характеризуються: тривалістю бродіння тіста ($t_{бр.т}$), температурою тіста (t_t), втратами сухих речовин борошна при бродінні тіста ($V_{тр.бр.т}$), конструктивними особливостями бродильного апарату ($M_{б.а}$), продуктивністю тістоподільної машини ($Q_{т.д}$), а показниками зброженого тіста є: питомий об'єм ($V_{пит.т}$), газоутворююча здатність тіста ($V_{co_2т.}$), титрована (K_t) і активна кислотність (pH_t), окисно-відновний потенціал (Eh_t), розпушеність (dt).

Для етапу *поділу тіста* (рис. 2.26) на шматки характерні такі показники: точність тістоподільника ($T_{т.п.}$), конструктивні особливості тістоподільного агрегату ($M_{т.п.}$), маса куска тіста ($m_{к.т.}$), а для етапу *округлення тістових заготовок* – конструктивні особливості тістоокруглювача ($M_{т.о.}$), кількість тістових заготовок ($K_{т.з.}$), кількість округлень тістової заготовки ($Ko_{т.з.}$), питомий об'єм тістової заготовки ($V_{пит.т.з.}$), реологічні властивості тістової заготовки ($\eta_{т.з.}$), пористість тістової заготовки ($P_{т.з.}$), формоутримуюча здатність тістової заготовки ($\Phi_{т.з.}$).

На етапі *вистоювання тістових заготовок* визначальними є такі показники: тривалість вистоювання ($\tau_{вист.}$), температура ($t_{ш.в.}$) та вологість ($W_{ш.в.}$) в шафі вистоювання, конструктивні особливості шафи для вистоювання ($M_{ш.в.}$).

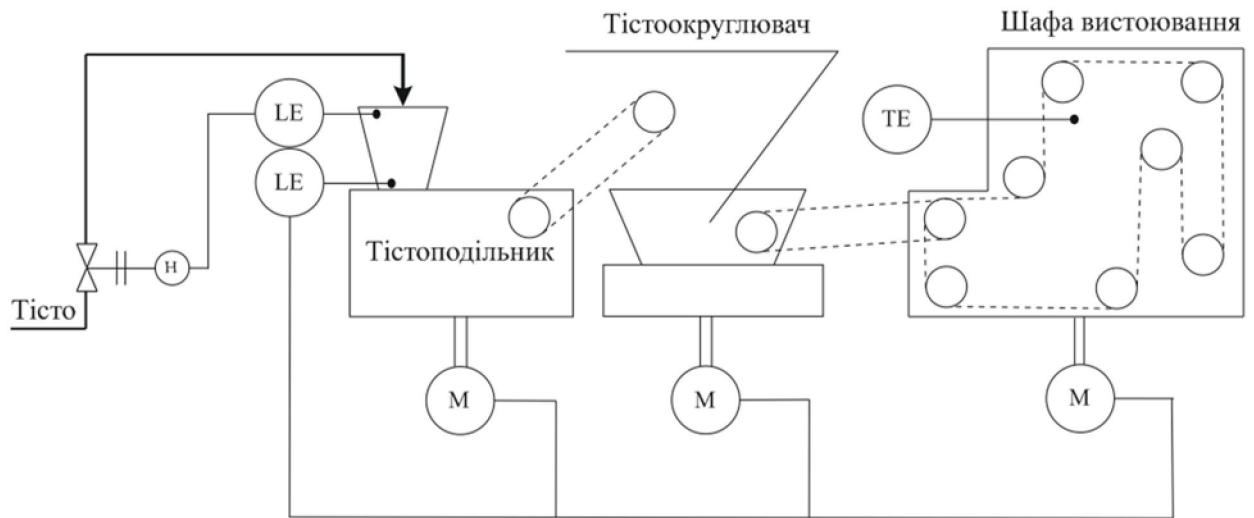


Рис. 2.26. Схема ділянки формування та вистоювання тістових заготовок.

Основними характеристиками процесу *випікання хліба* (рис. 2.29) є: тривалість випікання ($\tau_{\text{вип.}}$), вологість ($W_{\text{вип.}}$) та температура випікання ($t_{\text{вип.}}$), вологість тістової заготовки ($W_{\text{т.з.}}$), конструктивні особливості печі ($M_{\text{п}}$), питомий об'єм хліба ($V_{\text{пит.х.}}$), кислотність ($K_{\text{х}}$), пористість ($\Pi_{\text{х}}$), вологість ($W_{\text{х}}$) та формоутримуюча здатність ($\Phi_{\text{х}}$) хліба, температура центра ($t_{\text{ц.м.}}$) та відносна пружність ($H_{\text{в.пр}}$) м'якушки.

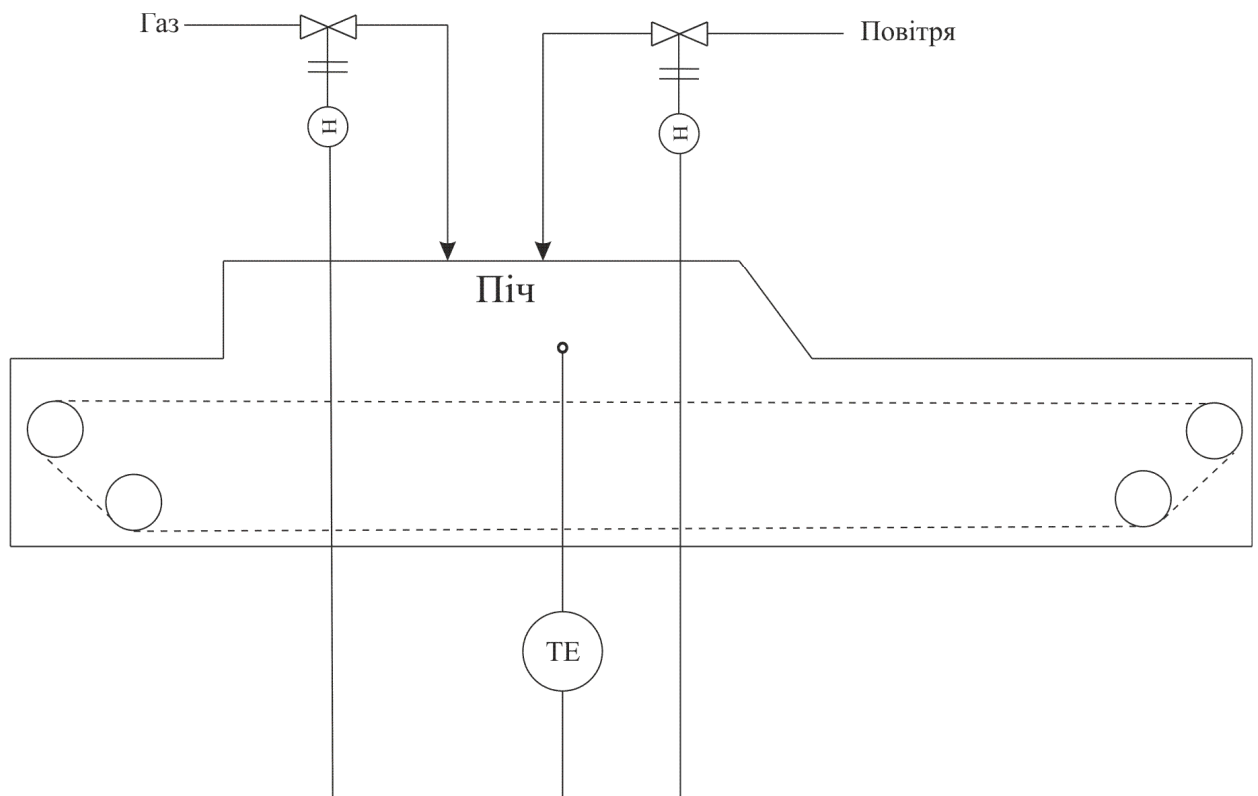


Рис. 2.27. Схема ділянки випікання тіста.

Контрольні запитання

1. Якими показниками характеризується борошно?
2. Які є методи приготування тіста? Чим вони відрізняються?
3. Які критерії якості хліба?

4. Як оцінюють якість готової продукції?
5. Які особливості підприємств хлібопекарської промисловості?

3. МОЛОЧНЕ ВИРОБНИЦТВО

3.1. Особливості технологічних процесів в галузі молочної промисловості

Технологічні процеси в галузі молочної промисловості мають суттєві особливості:

- різноманітний асортимент, який часто змінюється;
- переробка продуктів, які швидко псуються, що потребує чіткої організації процесів переробки та оптимального режиму управління;
- показники якості сировини змінюються залежно від пори року, часу, умов транспортування та зберігання;
- суворе дотримання рецептур приготування молочних продуктів та технологічних режимів переробки сировини для зберігання смакової та харчової цінності продуктів;
- виключення контакту рук людини з продуктами та сировиною;
- широке застосування безперервних технологічних процесів та поточних ліній для випуску певних виробів, які забезпечені сучасними машинами та апаратами;
- застосування складних фізико-хімічних та біохімічних методів переробки молочних продуктів.

Усі ці особливості визначають ефективність застосування автоматизації технологічних процесів виробництва молочних продуктів.

Класифікація номенклатури технологічних параметрів, що контролюються в АСУТП в молочній промисловості:

1. Загальнотехнічні параметри: температура; тиск; рівень; витрати; маса; підрахунок кількості продукції.
2. Параметри складу молока та молочних продуктів:
 - масова доля жиру, білку та сухих речовин;
 - масова доля вологи, лактози, сахарози;
 - вміст вітамінів, активність іонів.
3. Параметри якості молока та молочних продуктів:
 - кислотність та лужність (Рн);
 - густина та реологічні характеристики: в'язкість та консистенція;
 - розчинність (для сухого молока).
4. Параметри складу допоміжних технологічних середовищ:
 - - концентрації миючих розчинів;
 - - контролю розподілу середовищ молоко-вода-миючий розчин;
 - - забруднення конденсату.
5. Параметри контролю якості тари та упаковки з готовим продуктом:
 - - контроль якості скляної тари;
 - - герметичність;
 - - відхилення маси тари та наявності сторонніх включень (домішок).

6. Санітарно-гігієнічні параметри:

- - степінь чистоти;
- - концентрація мікроорганізмів і т.п.

Загальнотехнічні параметри та параметри складу середовищ отримують за допомогою засобів вимірювання (ЗВ), які розміщені безпосередньо на технологічному обладнанні (ємностях, трубопроводах тощо). Вимірювання складу, якості і властивостей продукту виконуються спеціальними ЗВ галузевого призначення, які контролюють параметри або в потоці, або в ємностях, а також в лабораторіях по відібраним пробам.

Контрольні запитання

1. Наведіть суттєві особливості технологічних процесів в галузі молочної промисловості.
2. Які загальнотехнічні параметри контролюються в АСУТП в молочній промисловості?
3. Які параметри характеризують склад молока та молочних продуктів в молочній промисловості?
4. Які параметрів характеризують склад допоміжних технологічних середовищ в молочній промисловості?
5. Які параметри характеризують якість тари та упаковки з готовим продуктом в молочній промисловості?
6. Які параметри характеризують санітарно-гігієнічний стан в молочній промисловості?
7. Як отримують загальнотехнічні параметри складу середовищ в молочній промисловості?
8. Як отримують параметри, що характеризують якість кінцевого продукту в молочній промисловості?

3.2. Технологія незбираномолочних продуктів

3.2.1. Питні види молока та вершки.

Молоко унікальний дієтичний харчовий продукт, всі компоненти якого мають суттєве значення в харчуванні людини. Особливість молока в тому, що уже через 2 години після видоювання, в ньому розмножуються мікроорганізми.

Розрізняють наступні фази молока:

■ **бактерицидну фазу молока** – період з моменту видоювання, протягом якого за рахунок антибактеріальних речовин, що є у самому молоці, кількість мікроорганізмів у молоці не збільшується і воно вважається свіжим;

■ **фазу змішаної мікрофлори** – протягом якої в молоці ростуть молочнокислі бактерії та гнильні бактерії, стафілококи тощо і яка є найнебезпечнішою з епідеміологічних позицій. **Тому молоко перед вживанням підлягає обов'язковій тепловій обробці.**

Молоко питне – це молоко, піддане нормалізації та тепловій обробці при заданих теплових режимах.

Класифікація питних видів молока, виготовлених з натуральної молочної сировини:

За способом теплової обробки розрізняють молоко – пастеризоване, пряжене та стерилізоване.

■ за хімічним складом молоко - з різним вмістом жиру; з різним вмістом білку; вітамінізоване та молоко збагачене мінеральними речовинами.

■ за наявності харчових добавок молоко: з какао; з кавою та десертні види (з ароматизаторами та барвниками).

■ за видом упаковки: фасоване у споживчу та транспортну тару.

В окремий вид відноситься відновлене молоко, що виготовлене із сухих молочних продуктів.

Основними видами молока, які нормуються в готовому продукті, при чому відхилення від заданої кількості в споживчій тарі не повинно перевищувати $\pm 0,1\%$, є:

■ питне молоко з масовою часткою жиру 2,5 та 3,2%;

■ молоко з підвищеною жирністю (6,0; 4,0 та 3,5%);

■ маложирні види (2,0; 1,5; 1,0 та 0,5%) та знежирене.

Гранична титрована кислотність готового продукту повинна бути в межах **20...25 °Т**, а густина **-1024...1075 кг/м³**. Для дитячих установ молоко повинно мати кислотність не більше **19 °Т**.

3.2.2. Питне пастеризоване молоко

Пастеризоване молоко – це молоко, оброблене при температурі від 65 до 99 °С з відповідним витримуванням.

В якості сировини для виробництва пастеризованого коров'ячого молока використовують: ■ молоко коров'яче незбиране не нижче II гатунку, ■ молоко знежирене кислотністю до 19 °Т, ■ вершки з масовою часткою жиру не більше 30 %, кислотністю не більше 18 °Т, ■ молоко незбиране сухе вищого гатунку розпилювального сушіння, ■ молоко знежирене сухе розпилювального сушіння, ■ вершки сухі вищого гатунку розпилювального сушіння, молоко згущене знежирене, ■ маслянку, отриману при виробництві солодковершкового масла, кислотністю не більше 19 °Т або ■ маслянку суху розпилювального сушіння, ■ цукор-пісок, ■ цукор рафінований, ■ какао - порошок і каву натуральну (для молока з наповнювачами), ■ вітамін С чи його модифікацію у вигляді аскорбінату натрію (для молока з вітаміном С).

Загальні технологічні операції виробництва пастеризованого молока.

Технологічний процес виробництва всіх видів пастеризованого молока складається із наступних операцій: ■ приймання та підготовка сировини; ■ очищення; ■ нормалізація; ■ складання суміші (для десертних видів молока); ■ гомогенізація; ■ пастеризація та охолодження; ■ вітамінізація (при необхідності); ■ розлив, ■ пакування, ■ маркування та ■ зберігання й ■ транспортування.

Залежно від нормативних документів, що діють в Україні та на конкретному підприємстві, склад технологічної лінії виробництва питного пастеризованого молока може бути модифікованим.

Наприклад, нормалізацію молока по жиру можна здійснювати шляхом змішування попередньо розрахованих компонентів суміші у ємностях або застосовуючи сепаратори-нормалізатори чи сепаратори-вершковідділювачі з нормалізуючим пристроєм.

Гомогенізація може бути повною або частковою, а при виробництві нежирної і маложирної продукції - відсутньою.

3.2.3. Приймання та підготовка сировини

При прийманні молока спочатку проводять інспекцію тари:- ■ перевіряють її чистоту й цілісність пломб, ■ правильність наповнення, ■ наявність гумових кілець під кришками фляг.

Кожну партію молока, призначену для виробництва питного молока, після приймання перемішують і відбирають із неї пробу для визначення температури, густини, кислотності, групи чистоти, масових часток жиру і сухих речовин та інших показників згідно з вимогами до закупівельного молока.

Молочну сировину очищують на сепараторах молоко-очищувачах або фільтрах різних конструкцій та іншому обладнанні. Використані способи повинні забезпечити очищення молока не нижче першої групи за еталоном.

На підприємствах молочної промисловості для приймання молока використовуються як локальні автоматизовані системи управління (ЛСАУ) з обмеженим колом функцій, які вони виконують (основна функція – вимірювання кількості прийнятого молока у потоці та в окремих випадках – відбір проби молока), так і сучасні комплексні комп'ютерно-інтегровані АСУ (ІАСУТП).

На сьогоднішній день знаходяться у експлуатації локальні системи управління по прийманню молока, які виконані у вигляді стаціонарних та пересувних установок. Це установки СМЗ (виробництва Чехія) двох типів продуктивністю: до 15000 л/год - СМЗ-2П, та 30000 л/год – СМЗ-65 та установки фірми «Діссель» (Німеччина) теж двох модифікацій, схема одної із яких (продуктивністю до 70000 л/год при основній допустимій похибці вимірювання кількості молока не більше $\pm 0,2$ %) приведена на рис. 3.1.

Недоліком розглянутих систем - відсутність можливості видачі інформації на верхній рівень АСУТП, що обмежує їх використання.

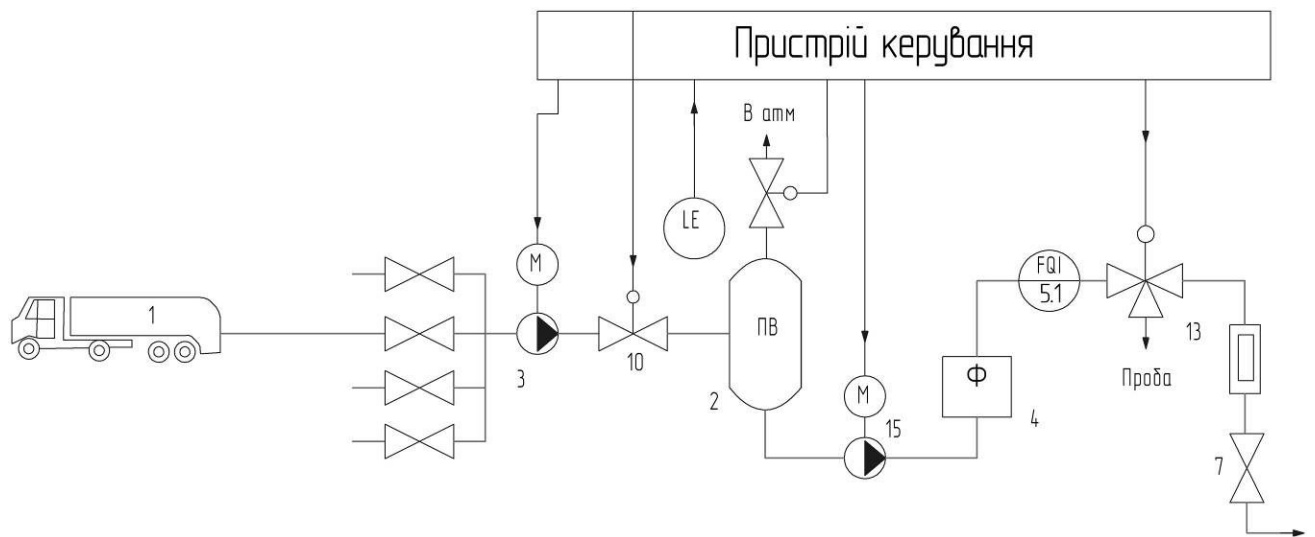


Рис.3.1. Схема виміральної установки для приймання молока в потоці від 4-х автоцистерн одночасно фірми «Діссель» з повітрявідокремлювачем 2 на стороні нагнітання насосу 3, де: 1 — автомолцистерна; 2 — повітрявідокремлювач; 3, 15 -насоси; 4 — фільтр; 5 - лічильник; 6 – клапан відбірника проби; 7 - зворотний клапан; 8 —пристрій керування; 9 - клапан для випуску повітря; 11 – датчик рівня молока у ПВ; 10, 16 — клапани с пневмоприводом; 13 — вставка трубопроводу із скляним віконце.

На рис. 3.2 приведена типова схема комплексу технічних засобів сучасної ІАСУТП для оснащення приймального відділення з двома (можливість нарощування до чотирьох і більше) резервуарами для зберігання молока, яка рекомендована НДІ молока.

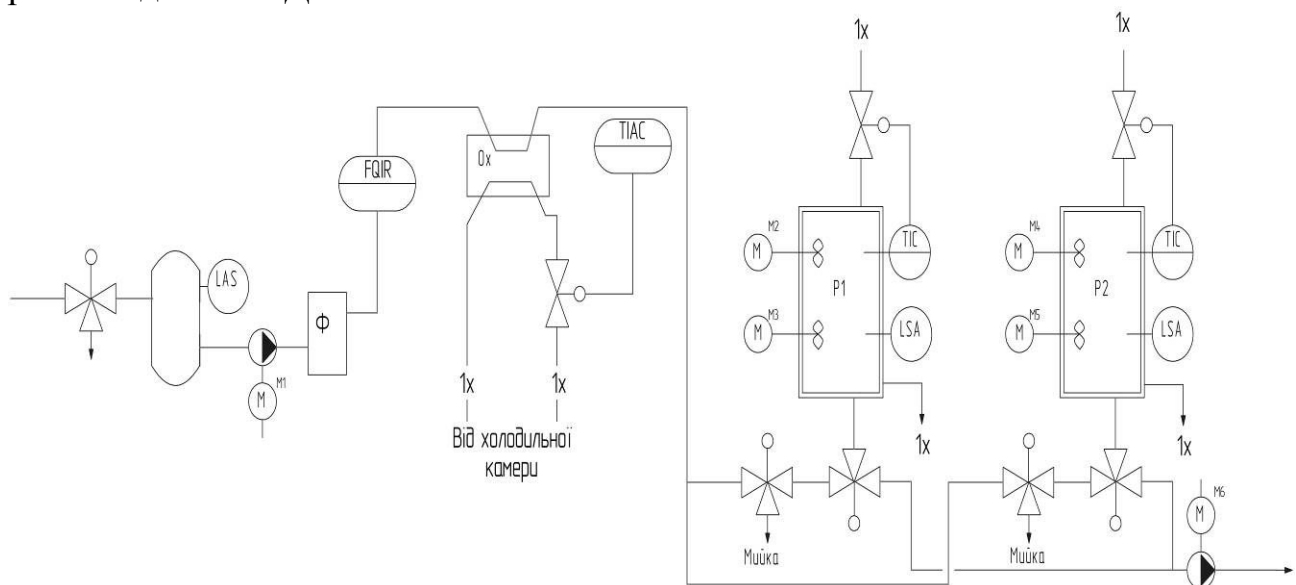


Рис. 3.2. Функціональна схема системи управління прийманням та попереднім зберіганням молока в двох резервуарах:

ПВ — проміжна ємність (повітрявідділювач); Φ - фільтр; Ох — охолоджувач; P1 та P2 - резервуари для зберігання молока; M1 – M4 - мішалки.

ІАСУТП, виконуючи одночасно весь комплекс задач підприємства, в приймальному відділенні виконують: відбір проби та оцінку параметрів складу (сухих речовин) та якості молока (кислотність, жирність, густину, температуру,

механічне забруднення та наявність бактерій), а також керують: фільтрацією (молочну сировину очищують не нижче I групи за еталоном на сепараторах для очищення молока або фільтрах різних конструкцій), транспортуванням молока у резервуари зберігання, перемішуванням молока в резервуарах зберігання в заданий термін часу, вимірюванням кількості прийнятого молока, вимірюванням та регулюванням температури молока при його охолодженні для зберігання, реєстрацією основних параметрів прийнятого молока в накладній для постачальника та ін..

Молоко, відібране за якістю та очищене, направляють на нормалізацію.

3.2.4. Нормалізація молока

Нормалізація молока здійснюється з метою отримання молока із заданим гарантованим вмістом жиру залежно від вимог стандарту.

Традиційні значення масової частки жиру у готовому продукті становлять 2,5 і 3,2 %, а також 1,5 % - для маложирних видів молока, Випускається також молоко з низьким вмістом жиру, як 0,05 і 0,5 %, та підвищеним його вмістом - 3,5 % тощо.

Враховуючи, що вміст жиру є важливим економічним фактором, нормалізація молока виконується дуже ретельно і з високою точністю.

Залежно від жирності вихідної сировини і готового продукту при нормалізації: ■ за вмістом жиру використовують знежирене молоко чи вершки, ■ за вмістом сухих речовин - сухе знежирене молоко чи згущене знежирене молоко без цукру.

Як правило, на практиці доводиться зменшувати масову частку жиру у вихідній сировині, і в цьому випадку окрім знежиреного молока допускається також використовувати маслянку, отриману при виробництві солодковершкового масла.

На підприємствах молочної промисловості нормалізацію проводять за трьома варіантами:

■ За наявності необхідної кількості вершків і знежиреного молока їх додають до незбираного молока і змішують, регулюючи масову частку жиру.

■ Частину незбираного молока сепарують, одержують вершки та знежирене молоко, а потім несепароване молоко, що залишилось, змішують із знежиреним молоком або вершками, регулюючи масову частку жиру.

■ Усе молоко, що надходить на переробку, нормалізують на сепараторах-нормалізаторах, а залишкову частину вершків передають на подальшу переробку (наприклад, на виробництво сметани чи вершкового масла).

Перші два варіанти передбачають нормалізацію шляхом змішування в ємностях (періодичний спосіб), останній - нормалізацію в потоці.

3.2.5. Нормалізація молока

Нормалізація це процес отримання молока з гарантованим вмістом жиру залежно до вимог стандарту (традиційні значення масової частки жиру у

готовому продукті приведені у пункті 1.1). Зустрічаються також молоко з вмістом жиру 0,05%.

При виробництві питних видів пастеризованого молока нормалізація переважно проводиться за масовою часткою жиру, проте для білкового та деяких видів десертного молока необхідне додаткове врахування масової частки сухих речовин.

Залежно від жирності вихідної сировини та необхідної жирності готового продукту використовують: при нормалізації молока за вмістом жиру знежирене молоко і вершки, а при нормалізації молока за вмістом сухих речовин – сухе знежирене чи згущене знежирене молоко без цукру. На практиці при нормалізації молока за вмістом жиру зменшують масову частку жиру у вихідній сировині (незбираному молоці) за рахунок знежиреного молока, а також допускається використання замість знежиреного молока - маслянки, яку отримують при виробництві солодко вершкового масла.

Знежирене молоко - це частина молока, яку отримують після відокремлення вершків. Отримують його після проведення загальної технологічної операції – сепарування на спеціальних сепараторах-вершковідділювачах і його вихід при цьому становить приблизно 90% від загальної маси вихідного незбираного молока, що переробляється. Знежирене молоко містить поживні повноцінні молочні компоненти – білки (до 99,6%) та молочний цукор (лактоза до 99,5%) від їх загальної кількості в незбираному молоці. У разі ефективного сепарування в знежирене молоко переходить до 1,4% молочного жиру і його вміст у знежиреному молоці коливається у межах від 0,01 до 0,08%. Середнє значення жиру 0,05% використовують при розрахунку продуктів.

Вміст: білків у знежиреному молоці, як і у вихідному незбираному молоці, коливається у межах 3,0...3,5%; лактози – 4,5...4,8%; мінеральних речовин – до 0,7%. Загальний вміст сухих речовин становить 8,2...9,5%.

Знежирене молоко – складна дисперсна система: істинний розчин солей та лактози, колоїдний розчин або суспензія білків та емульсія молочного жиру у плазмі.

Нормалізацію молока проводять 3-ма способами.

1. За наявності необхідної кількості вершків та знежиреного молока їх додають до незбираного молока і змішують, регулюючи масову частку жиру.

2. Частину незбираного молока сепарують, одержуючи вершки та знежирене молоко, а потім несепароване молоко, що залишилось, змішують із отриманими знежиреним молоком або вершками, регулюючи тим самим масову частку жиру.

Наведені способи нормалізації реалізуються за рахунок змішування складових у ємностях і являють собою періодичний спосіб нормалізації.

Періодичний спосіб нормалізації молока (в ємностях), як правило використовується на підприємствах малої потужності. Для цього до певної кількості молока визначеної жирності при ретельному перемішуванні додають необхідну кількість, що розраховується за рівнянням матеріального балансу, або знежиреного молока, якщо жирність вихідного молока більша необхідної, або вершки – у протилежному випадку. При відомому (сталому) поперечному перерізі

ємності нормалізації, необхідна жирність молока на фасування забезпечується тільки необхідним рівнем знежиреного молока, та відповідним йому рівнем добавлених вершків.

Висока точність вимірювання об'ємної концентрації вершків у цьому випадку забезпечується одним приладом, наприклад, ультразвуковим інтерференційним рівнеміром на стоячій хвилі з високою дозвільною здатністю, що контролює заповнення обох компонент до заданого рівня.

При цьому попередньо знежирене молоко та отримані при цьому вершки, які знаходяться у окремих ємностях, надходять по чергово у ємність нормалізації і інтенсивно перемішуються. Отриману нормалізовану суміш направляють на очищення до сепаратора-очищувача, попередньо підігрівши її до температури 40...45 °С в секції рекуперації пастеризаційної установки. Забезпечення випуску нормалізованого молока заданої якості по вмісту жиру при одночасній економії вершків, забезпечує нормалізація молока в ємності з використанням високоточного рівнеміра.

3. Третій спосіб нормалізації називається у потоці, коли все молоко, що надходить на переробку, нормалізують на сепараторах-нормалізаторах або сепараторах-вершковідділювачах з нормалізуючими пристроями, а залишкову частку вершків передають на подальшу переробку (для виготовлення масла чи сметани). Використання зазначених сепараторів є найбільш ефективним способом нормалізації так як дозволяє поєднати одночасно відцентрове очищення молока від механічних домішок із власне нормалізацією сировини, виключаючи при цьому ризик додаткового бактеріального обсіменіння продукту завдяки проведення процесу у закритому потоці.

Нормалізація молока в потоці ґрунтується неперервному змішуванню у певному співвідношенні потоку незбираного вихідного молока, що нормалізується, та продуктів (знежирене молоко або вершки), які використовуються для нормалізації і які отримують на сепараторах-вершковідділювачах, та на автоматичному підтримуванні співвідношення витрати незбираного молока та знежиреного молока чи вершків, яке розраховується з урахуванням жирності і вмістом сухих речовин вихідного незбираного молока, що нормалізується.

Нормалізоване молоко при $Ж_{незб} > Ж_{норм}$ (ця умова виконується у більшості випадків) отримують за формулою алгоритму управління локальної АСР:

$$Ж_{норм} = Ж_{незб} - \frac{Q_{знеж}}{Q_{норм}} (Ж_{незб} - Ж_{знеж})$$

де $Ж_{незб}$, $Ж_{норм}$ та $Ж_{знеж}$ - відповідно жирність незбираного, нормалізованого та знежиреного молока; $Q_{знеж}$ та $Q_{норм}$ – витрати знежиреного та нормалізованого молока.

При цьому частина знежиреного молока чи вершків відводиться як надлишковий продукт.

На рис. 3.3 приведена локальна АСУ УНП-2, що використовується при нормалізації молока у потоці без сепаратора – вершковідділювача.

Незбиране та знежирене молоко, що попередньо отримані сепаруванням незбираного молока і знаходяться в окремих ємностях, проходять через клапан К2 і змішуються на всмоктувальній лінії насосу. Отримана суміш через клапан К3 подається на пастеризацію. Система обладнана контуром необхідного співвідношення витрати знежиреного та нормалізованого молока з можливістю внесення оператором необхідного коригування в залежності від жирності незбираного молока. Контур обладнаний двома індукційними витратомірами 1 та 2, ПВП яких встановлені на відповідних трубопроводах. Регулювання співвідношення здійснюється регулятором 3.1 через клапан 1. Потужність системи по нормалізуємому молоку до 50 м³/год в діапазоні масової долі жиру 1...3,2% з СКВ її від заданого значення – 0,05%.

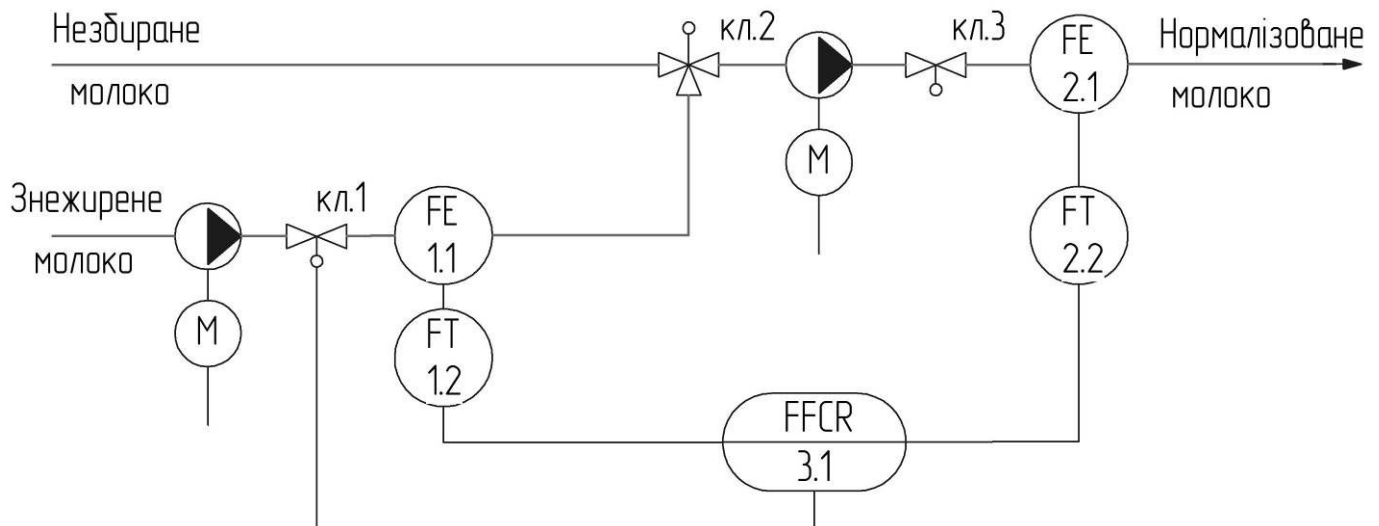


Рис. 3.3. Локальна АСУ з регулюванням «зі збурення» УНП-2, що використовується при нормалізації молока у потоці (без сепаратора – вершковідділювача).

АСР УНС-2 (рис.3.2) – модифікована система, яка вміщує три контури регулювання: ■ співвідношення витрати вершків (Сл), які отримують після сепарування та незбираного молока (І); ■ співвідношення витрати вершків (Сл), які отримують після сепарування та надлишкових вершків після нормалізації; ■ тиску знежиреного молока.

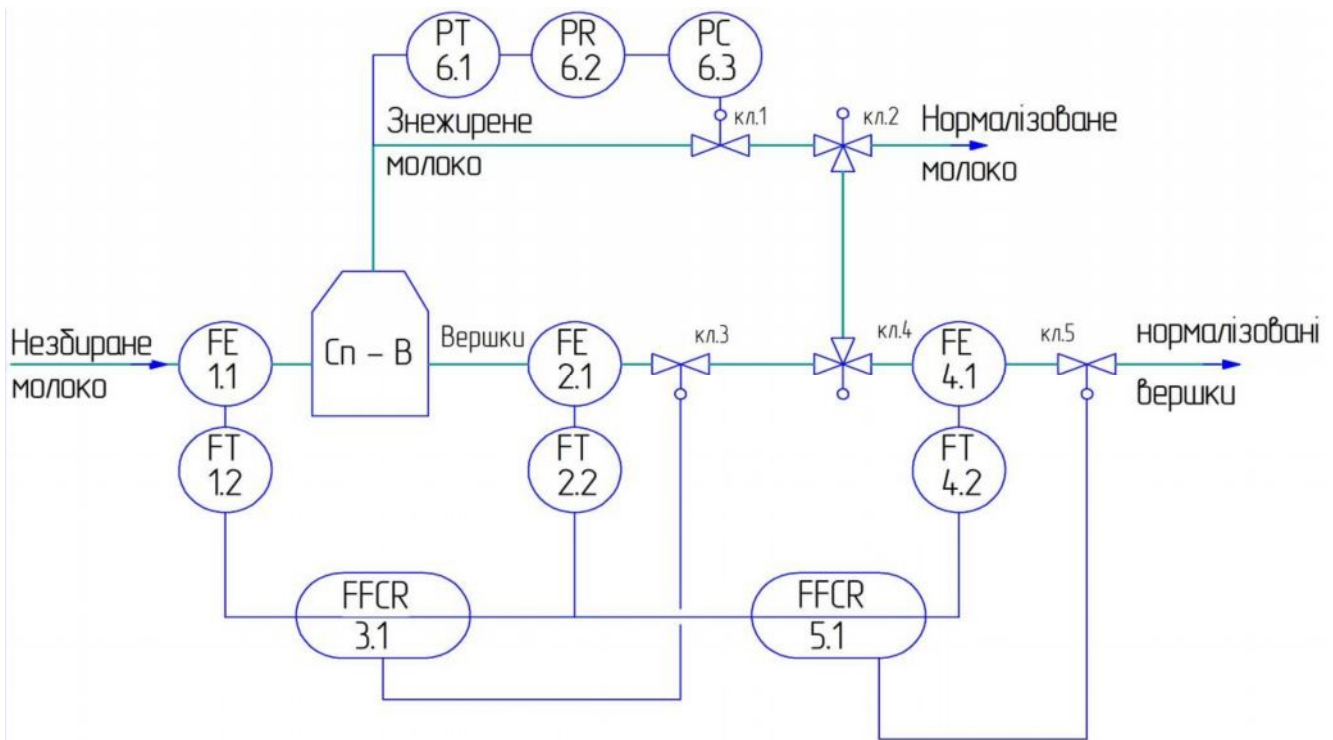


Рис. 3.4. Локальна АСУ з регулюванням «зі збурення» УНС-2, що використовується при нормалізації молока у потоці з сепаратором – вершковідділювачем.

В сукупності ці три контури забезпечують необхідну масову частку жиру в вершках, що отримують на виході нормалізованих вершків, та в нормалізованому молоці і підтримують заданий режим роботи сепаратора – вершковідділювача, хоча безпосередньо вміст жиру в молоці не вимірюється.

Необхідне співвідношення витрати вершків, які отримують після сепарування та незбираного молока, що подається на сепаратор, задається задавачем приладу 3.1 та підтримується (по сигналам індукційних витратомірів 1 та 2) регулятором співвідношення 3.1 через клапан 3. А необхідне співвідношення витрати вершків, які отримують після сепарування та надлишкових вершків після нормалізації, задається задавачем приладу 5.1 та підтримується (по сигналам індукційних витратомірів 2 та 4) регулятором співвідношення 5.1 через клапан 5.

Контур стабілізації тиску знежиреного молока вміщує ПВП тиску 6.1, реєструючий прилад 6.2 та регулюючий ПИ-регулятор 6.3 з регулювальним клапаном 1.

В комплект УНС-2 входять також клапани, які слугують для перемикання потоків при виконанні циркуляційної мийки трубопроводів та сепаратора (на рис. не показані).

Потужність системи по нормалізуємому молоку до 25 м³/год в діапазоні масової долі жиру 1...3,2% з СКВ масової долі жиру від заданого значення – 0,025%.

Прикладом технічного рішення системи управління нормалізацією молока та вершків

з регулювання «з відхилення» по вмісту жиру є система «Компомастер» фірми «Пасілак» (Данія), що приведена на рис. 3.5.

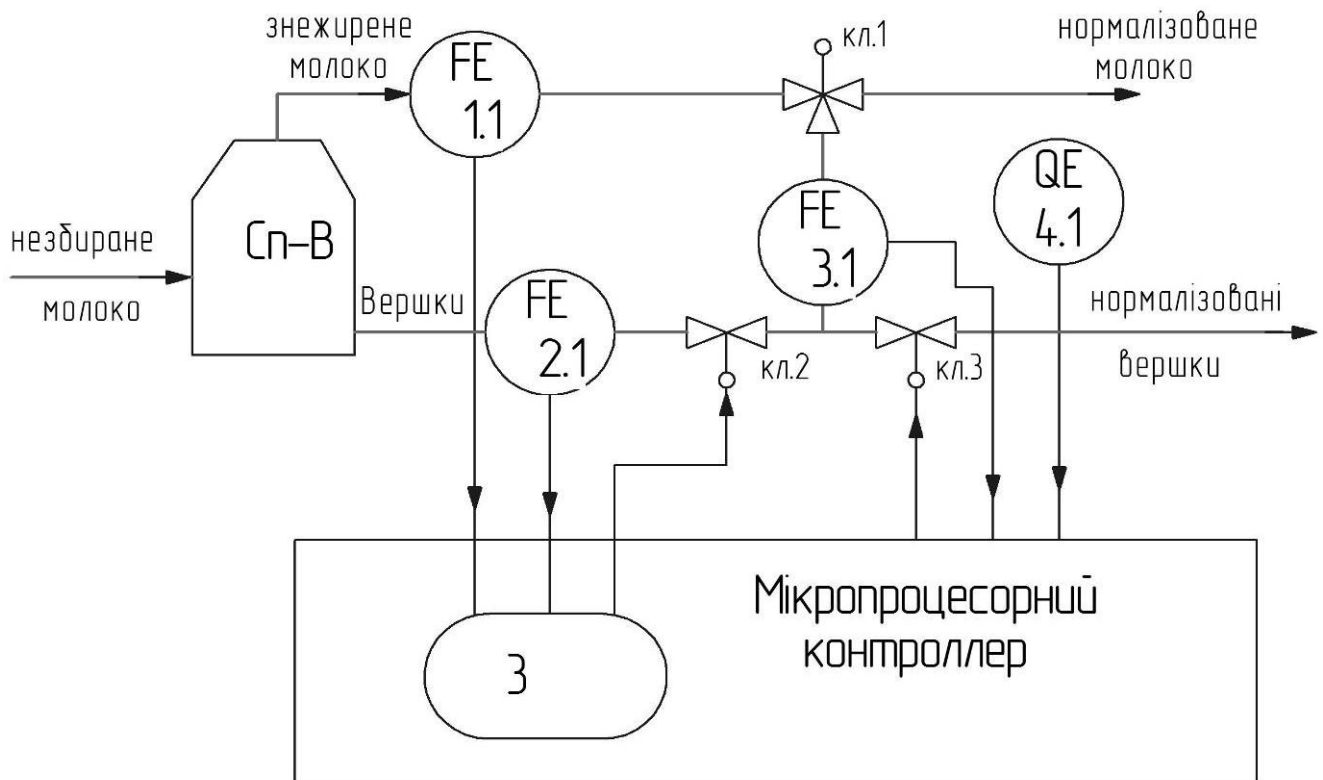


Рис. 3.5 АСР нормалізації молока з регулюванням «з відхилення» «Компомастер».

Система вміщує прилад для вимірювання вмісту жиру в молоці типу «Мілко-Тестер контроль» фірми «Фосс-Електрик» (Данія) для вимірювання масової долі жиру в нормалізованому молоці, три індукційних витраміри 1,2, та 3 знежиреного молока, отриманих вершків та вершків, що використовуються на нормалізацію знежиреного молока; регулюючі клапани 5 та 6 і мікропроцесорний контролер для керування процесом нормалізації у відповідності із наступним алгоритмом для молока та вершків:

$$J_{\text{НОРМ}} = J_{\text{ЗНЕЖ}} + \frac{Q_{\text{ВЕРШ}}^{\text{ОТР}}}{Q_{\text{ВЕРШ}}^{\text{НОРМ}}} \frac{(J_{\text{НЕЗБ}} - J_{\text{ЗНЕЖ}})(Q_{\text{ЗНЕЖ}} + Q_{\text{ВЕРШ}})}{Q_{\text{ЗНЕЖ}} + Q_{\text{ВЕРШ}}^{\text{ОТР}}};$$

$$J_{\text{ВЕРШ}} = \frac{Q_{\text{ЗНЕЖ}} + Q_{\text{ВЕРШ}}}{Q_{\text{ВЕРШ}}} (J_{\text{НЕЗБ}} - J_{\text{ЗНЕЖ}}) + J_{\text{ЗНЕЖ}},$$

де $J_{\text{НЕЗБ}}$, $J_{\text{НОРМ}}$, $J_{\text{ЗНЕЖ}}$ та $J_{\text{ВЕРШ}}$ - відповідно жирність незбираного, нормалізованого та знежиреного молока і вершків відповідно; $Q_{\text{ЗНЕЖ}}$, $Q_{\text{ВЕРШ}}^{\text{ОТР}}$, $Q_{\text{ВЕРШ}}^{\text{НОРМ}}$ - витрати відповідно знежиреного молока і вершків отриманих та витрачених на нормалізацію.

Система забезпечує нормалізацію молока з похибкою не більше $\pm 0,03\%$, а по вершкам - $\pm 0,3\%$ при виробничій потужності по 25000 л/год.

Ще одною із систем управління нормалізацією молока та вершків з регулювання «з відхилення» є система «Альфаст» фірми «Пасілак» (Данія), що приведена на рис. 3.6.

В системі розраховується масова доля жиру у продукті по густині отриманих вершків.

Випускаються системи «Альфаст» двох модифікацій: «Альфаст АСД-Д» - тільки для вершків, а «Альфаст АДС-Д» - для керування процесом нормалізації молока та вершків.

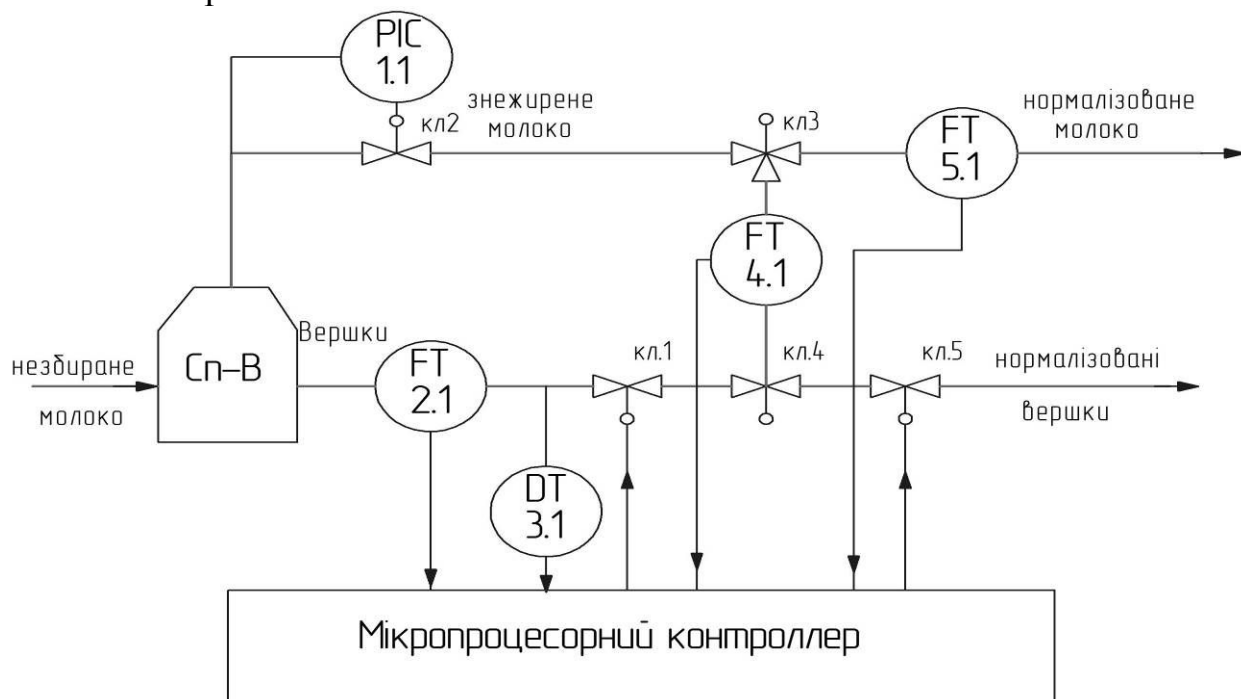


Рис. 3.6. АСР нормалізації молока з регулюванням «з відхилення» «Альфаст»

3.2.6. Гомогенізація

Гомогенізація досить широко використовується в молочній промисловості при виробництві цілого спектра продуктів, для яких відстоювання жиру має негативні наслідки, в тому числі й для питних видів молока.

Мета гомогенізації - подрібнення жирових кульок молока до розмірів, що забезпечують необхідну стабільність жирової фази молока.

Для досягнення вказаної мети необхідно, щоб середній діаметр жирових кульок не перевищував 2 мкм. В 1 мл молока число жирових кульок складає від 2 до 4 млрд при розмірах від 0,5 до 10 мкм.

Для гомогенізації застосовують різноманітне диспергуюче обладнання, що різняться за механізмом впливу на молоко:

- ■ клапанні, ■ відцентрові, ■ ультразвукові, ■ вакуумні та інші апарати.

Найбільш поширеними у молочній промисловості є клапанні гомогенізатори на основі багатоплунжерних насосів високого тиску, що забезпечують обробку продукту під тиском до 25 МПа (рис. 3.7).

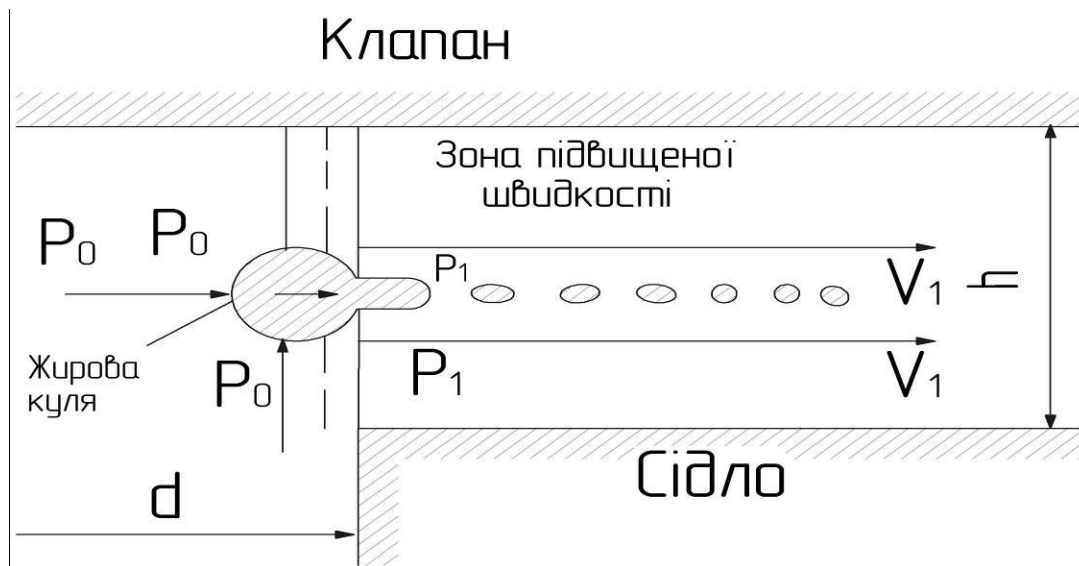


Рис. 3.7. Клапанний гомогенізатор багатоплунжерного насосу високого тиску.

При вході у щілину клапану швидкість потоку різко зростає. Жирова капля при цьому потоком плазми витягується в циліндр, який під дією сил поверхневого натягу ділиться на окремі маленькі кульки, які знову приймають стійку форму. Крім градієнту швидкості на диспергування (дрібнення) жирової кульки впливає і різниця тисків в каналі та щілині клапану.

Гомогенізація сировини залежно від виду питного молока сприяє:

- ■ забезпеченню однорідності його складу під час зберігання;
- ■ підвищенню стійкості при зберіганні стерилізованого молока;
- ■ покращенню смаку молока з наповнювачами;
- ■ попередженню появи водянистого присмаку та підвищенню в'язкості відновленого молока.

Гомогенізація, тобто, забезпечення рівномірного розподілу жирової фази, дозволяє запобігти значних втрат молочного жиру при переробці, транспортуванні й зберіганні сировини та готової продукції, покращує засвоюваність і консистенцію молочних продуктів, підвищує їх стійкість при зберіганні.

По типу гомогенізуючої головки розрізняють одно-та двоступеневі гомогенізатори.

При двоступеневій гомогенізації сумарний тиск замірюється перед першим і другим ступенем, чим досягається оптимальний ефект гомогенізації.

Ефективність гомогенізації вважається задовільною, якщо частка жирових кульок діаметром менше 2 мкм перевищує 80...85 %.

Ефективність гомогенізації можна визначають методом відстоювання жирової фази в

молоці після витримки проби у мірному циліндрі на 250 см(3) протягом 48 годин за температури 4...8 °С. Ступінь відстоювання жиру (СВЖ) визначають за формулою:

$$СВЖ = \frac{Ж_M - Ж_H}{Ж_M - 0,6Ж_H} 100\%$$

де Жм - жирність вихідного молока, %; Жн - жирність нижнього прошарку проби молока, що піддавалась відстоюванню, %; 0,6 - вказує на процентне відношення нижнього прошарку (60 %) до верхнього (40 %).

Окрім вказаного методу ефективність диспергування жиру визначають шляхом центрифугування зразка у спеціальних пробірках на центрифугі ЦЛМП-24 при частоті обертання 1420 об/хв. протягом 5 хв.; і визначають відношення оптичних густин молока, виміряних на спектрофотометрі СФ-4А після дії центрифуги та вихідного молока.

Визначальними факторами, які впливають на ступінь гомогенізації є температура, тиск та жирність молока.

Температура гомогенізації суттєво впливає не тільки на диспергування жирової фракції, але й на властивості й структуру адсорбційних оболонок, утворення скупчень жирових кульок, в'язкість молока, стабільність білків (особливо у вершках).

Гомогенізацію холодного молока, в якому жир переважно знаходиться у твердому стані, здійснити практично неможливо. Обробка молока при температурі 30...35 °С призводить до неповного диспергування жирових кульок.

Ефективною гомогенізація може бути лише тоді, коли вся жирова фаза знаходиться у рідкому стані, причому в концентраціях, властивих нормальному молоку.

Збільшення після диспергування загальної поверхні жирових кульок у 2-10 разів супроводжується адсорбцією білків плазми молока, оскільки вихідної оболонкової речовини (особливо ліпопротеїнового комплексу) недостатньо для покриття всієї знову утвореної поверхні.

Доведено, що при температурі 60...75 °С швидкість розтікання казеїну на межі розподілу жир-плазма підвищується, формування адсорбційних прошарків прискорюється, такий температурний режим забезпечує створення тонких і міцних адсорбційних оболонок жирових кульок.

За іншими температурними режимами (40...50 °С і більше 75 °С) формуються товсті, рихлі обонони, з виступаючими у водну фазу великими фрагментами міцел казеїну, що створює умови для об'єднання жирових кульок між собою із утворенням асоціатів (жирових скупчень).

При виробництві питного пастеризованого молока нормалізовану суміш зазвичай гомогенізують при температурі 60...65 °С і тиску 12,5... 15,0 МПа.

Гомогенізація відноситься до найбільш енергоємних технологічних процесів у молочній промисловості.

Рациональним енергозберігаючим способом гомогенізації є часткова гомогенізація, що передбачає попереднє сепарування молока, диспергування отриманих низькожирних вершків (16...20 % жиру) на двоступеневому гомогенізаторі під тиском на першому ступені 8... 10 МПа і на другому - 2,0...2,5 МПа, з наступною нормалізацією знежиреним молоком. Енергетичні витрати в цьому випадку знижуються у 4 рази, а загальні витрати - у 2,5 рази.

3.2.7. Пастеризація молока

Пастеризація на рівні з охолодженням є найбільш важливим процесом обробки молока. Правильне виконання процесу пастеризації дозволяє отримання молока тривалого терміну зберігання. На рис.3.8. приведена схема локальної АСУ пастеризації молока на пластинчатій пастеризаційно-охолоджувальній установці (ППОУ) .

Мета пастеризації полягає у знешкодженні патогенної мікрофлори й максимальної кількості усієї іншої мікрофлори без завдання значних збитків якості готовому продукту.

При такій температурній обробці гинуть вегетативні форми мікроорганізмів, а спорові і деякі види вегетативних термостійких форм залишаються, проте їх активність значно зменшується. Окрім мікроорганізмів слід інактивувати ферменти, які викликать глибокі зміни складових частин молока при виробництві й зберіганні молочних продуктів, що може призвести до зниження їх харчової цінності та виникнення вад смаку й запаху.

Для досягнення вказаної мети потрібен час, який знаходиться у зворотному зв'язку з температурою. Тобто, чим вищі температурні режими застосовуються для обробки молока, тим менший час потрібен для інактивації мікрофлори й забезпечення належного ефекту пастеризації.

Цей час витрачається як на прогрівання самої бактеріальної клітини, так і на проходження складного ланцюга біохімічних реакцій, що в кінці кінців призводять до припинення життєдіяльності мікроорганізму.

На ефективність пастеризації у значній мірі впливає ступінь механічної забрудненості молока. Великі сторонні частки і підвищена їх кількість у молоці є для мікроорганізмів захисним бар'єром від теплового впливу. Ефективність пастеризації буде тим нижчою, чим більші розміри часток і чим більша їх кількість.

Здатністю захищати мікроорганізми від впливу температур наділений і молочний жир внаслідок його низької теплопровідності.

Тому для забезпечення належної ефективності теплової обробки молока з підвищеним вмістом жиру слід використовувати суворіші температурні і часові режими.

Наявність чи відсутність того чи іншого із вказаних факторів враховується при встановленні режимів пастеризації і, в першу чергу, при виборі належної тривалості витримки молока у витримувачі **Вт** після досягнення температури теплової обробки.

При виробництві пастеризованого молока допускається використання наступних режимів пастеризації:

- ■ $(65 \pm 2) ^\circ\text{C}$ з витримкою 30 с;
- ■ $(76 \pm 2) ^\circ\text{C}$ з витримкою 15-20 с;
- ■ $(88 \pm 2) ^\circ\text{C}$ без витримки.

Останній режим покликаний в першу чергу забезпечити мінімальний рівень чисельності бактерій у молоці з підвищеним вмістом механічних та бактеріологічних забруднювачів.

Режим пастеризації молока на підприємстві обирають залежно від наявного теплообмінного обладнання з урахуванням бактеріального обсіменіння сировини і ефективності пастеризації.

Для досягнення належних температурних і часових параметрів теплової обробки в молочній промисловості використовують теплообмінні апарати пластинчастого або трубчастого типу, а для здійснення довготривалого режиму пастеризації - ванни тривалої пастеризації.

Теплообмінні апарати перших двох типів забезпечують постійний контроль за температурою пастеризації, яка фіксується самозаписуючими термографами і регулюється автоматично.

Система блокування виключає вихід з апарата недопастеризованого молока.

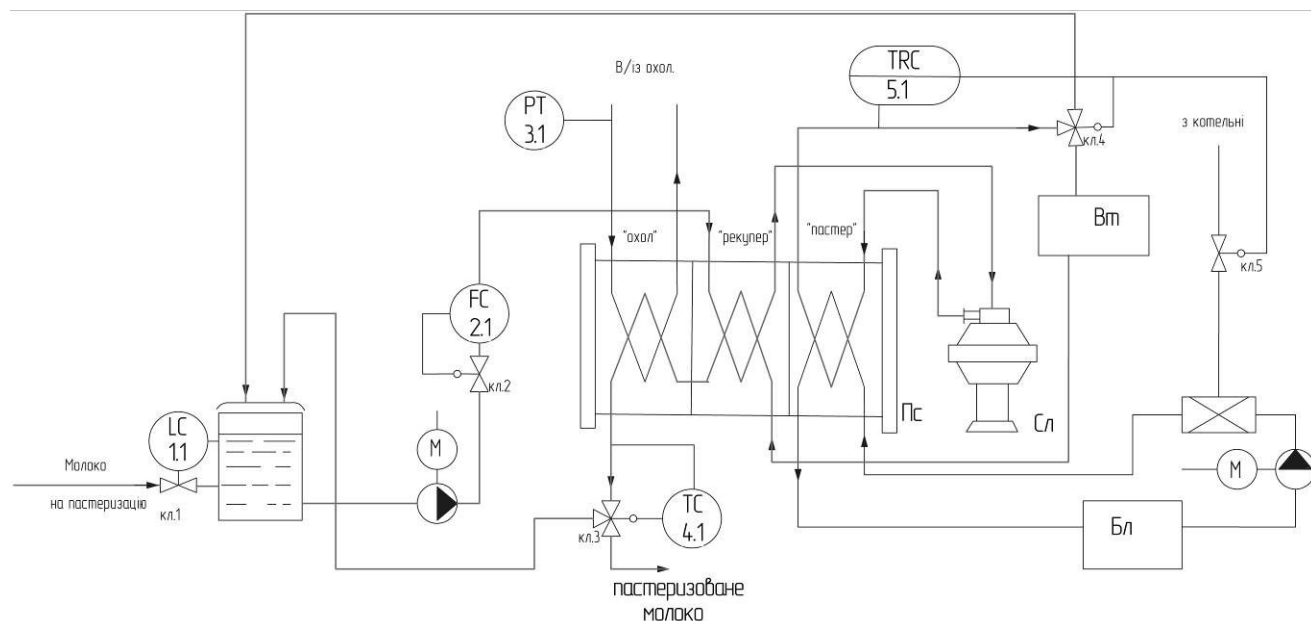


Рис. 3.8. Локальна АСУ пастеризації молока на пластинчатій пастеризаційно-охолоджувальній установці (ППОУ) продуктивністю 10 т/год.

Охолодження. Пастеризоване молоко охолоджують до температури 6 ± 2 °C і направляють на розлив і пакування чи у проміжну ємність для тимчасового зберігання (не більше 6 годин). При зберіганні до розливу понад 6 годин продукт направляють на повторну пастеризацію чи зменшують загальний термін допустимого зберігання на підприємстві.

Розлив пастеризованого молока дозволяється здійснювати у скляну тару, паперові пакети з комбінованого матеріалу тетраедральної форми, паперові пакети типу "Пюр-Пак", "Тетра-Брік", пакети з поліетиленової плівки чи іншу тару, яка має дозвіл Міністерства охорони здоров'я України, ємністю 0,25; 0,5 і 1,0 дм³.

Допускають розлив усіх видів пастеризованого молока у фляги, цистерни та бідони різної ємності.

Пастеризоване молоко зберігають при температурі (4 ± 2) °C і відносній вологості повітря 85...90 %.

Молоко, розлите у скляні пляшки, фляги, цистерни чи бідони, дозволяється зберігати не більше **36** годин із моменту закінчення технологічного процесу, в тому числі на підприємстві-виробнику - не більше 12 годин.

Термін зберігання пастеризованого молока, розлитого у паперові пакети та пакети з поліетиленової плівки марки МБЧ із чорним покриттям, залежатиме від температури проведеної пастеризації.

Молоко транспортується в авторефрижераторах чи автомашинах з ізоtermічним кузовом відповідно до діючих на певному виді транспорту правил перевезення продуктів, що швидко псуються.

3.2.8. Вершки питні

Вершки пастеризовані й стерилізовані (або УВТ-оброблені, тобто використано ультрависокотемпературне оброблення) - це вершки з масовою часткою жиру не менше 8 %, оброблені за відповідних температурних умов.

Пастеризовані вершки виробляють з масовою часткою жиру 8, 10, 20 і 35 %, а стерилізовані - 10 %.

В якості сировини для виробництва пастеризованих вершків використовують молоко коров'яче незбиране не нижче II гатунку, кислотністю не вище 19 °T.

Виробництво пастеризованих вершків.

Технологічна схема виробництва пастеризованих вершків приведена на рис. 3.9 і складається із наступних операцій:

■ приймання сировини (молока або вершків), ■ очищення та охолодження при зберіганні, ■ підігрів молока до температури сепарування, ■ сепарування молока, ■ нормалізація вершків, ■ підігрівання вершків до температури гомогенізації, ■ гомогенізація, ■ пастеризація, охолодження вершків; ■ проміжне резервування перед фасуванням, пакування і маркування вершків; ■ зберігання готового продукту.

Перші дві операції пов'язані з прийманням і сепаруванням молока, очищенням вершків фільтруванням, відновленням сухих вершків.

Незбиране молоко й вершки приймають за кількістю та якістю, встановленою лабораторією підприємства.

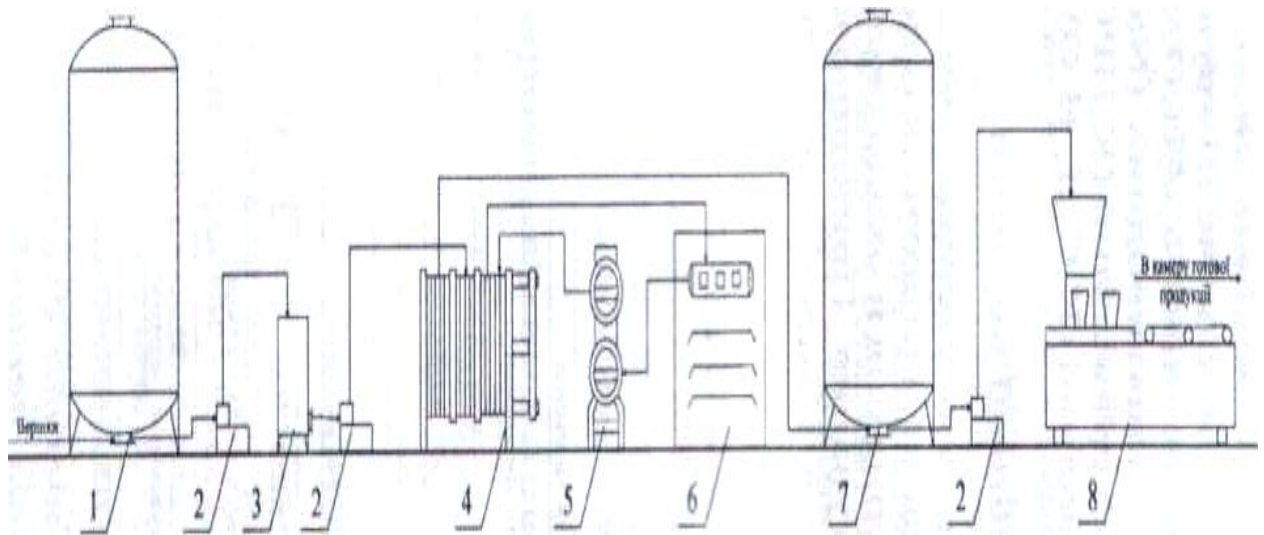


Рис. 3.9. Апаратурно-технологічна схема виробництва вершків: 1, 7 – ємність; 2 - насос для в'язких продуктів; 3 - зрівнювальний бачок; 4 - пластинчастий теплообмінник; 5 – трубчастий пастеризатор; 6 - гомогенізатор; 8 - фасувальний автомат.

Відібране за якістю молоко підігрівають до температури 35...40 °С і спрямовують на сепаратор-вершковідділювач. Вершки, отримані при сепаруванні незбираного молока, фільтрують і направляють на нормалізацію.

Сухі вершки відновлюють у воді з температурою 38...45 °С, фільтрують і вносять до загальної кількості вершків.

Пластичні вершки розрізають на шматки масою не більше 0,5 кг і розплавляють у гарячому молоці за температури не більше 60 °С, щоб не витоплювався жир.

Нормалізацію вершків проводять у двох випадках:

- якщо масова частка жиру у вихідних вершках вище нормованої величини;
- якщо масова частка жиру у вихідних вершках нижче нормованої величини.

В першому випадку до вершків додають незбиране чи знежирене молоко, а в іншому - вершки з більш високим вмістом жиру.

Необхідну для нормалізації кількість незбираного (знежиреного) молока або вершків з більшим вмістом жиру визначають за формулами:

$$M_M = \frac{M_B(\mathcal{J}_B - \mathcal{J}_{HB})}{(\mathcal{J}_{HB} - \mathcal{J}_M)}$$

$$M_{BЖВ} = \frac{M_B(\mathcal{J}_{HB} - \mathcal{J}_B)}{(\mathcal{J}_{BЖВ} - \mathcal{J}_{HB})}$$

де М маса (кг) : Мм - незбираного (або знежиреного) молока, Мв - вихідних вершків та Мвжв вершків з більш високим вмістом жиру; масові частки жиру у (%) : Жм – у незбираному (знежиреному) молоці, Жв - вихідних

вершках, Жнв - нормалізованих вершках та Жвжв - вершках з більш високим вмістом жиру.

Суміш для нормалізації з використанням сухих і пластичних вершків складають згідно з затвердженими рецептурами.

З метою стабілізації високожирної системи та запобігання відстоюванню жиру під час зберігання - нормалізовані вершки підлягають гомогенізації. Чим вища масова частка жиру у вершках, тим нижчим повинен бути тиск гомогенізації.

Вершки 8, 10 й 20 %-ної жирності гомогенізують підтиском 10...15 МПа, а вершки 35 %-ної жирності - під тиском 5,0..7,5 МПа за температури 60...80 °С.

Далі гомогенізовані вершки направляють на пастеризацію. При виборі режимів термообробки враховують, що молочний жир є доволі поганим провідником тепла й виступає захисним бар'єром для мікроорганізмів, тому для вершків з підвищеним вмістом жиру рекомендують більш високі температури пастеризації.

Вершки 8 й 10 %-ної жирності пастеризують за температури (80±2) °С з витримкою 15...20 с, вершки 20 й 35 %-ної жирності - за температури (87±2) °С з витримкою 15...20 с.

Пастеризовані вершки охолоджують до температури не вище 6 °С й направляють на розлив. Вершки фасують у скляні пляшки, пакети із комбінованих матеріалів або поліетиленової плівки, а також у полімерну тару місткістю 0,015; 0,2; 0,25; 0,5 дм.

Готові пастеризовані вершки повинні зберігатись за температури 3...6 °С не більше 36 годин з моменту завершення технологічного процесу, в тому числі на підприємстві-виробнику не більше 18 годин.

Транспортування вершків необхідно здійснювати в машинах з ізотермічним чи закритим кузовом.

3.2.9. Стерилізовані вершки

Виробництво стерилізованих вершків 10 %-ної жирності здійснюють шляхом одно- чи двоступеневої стерилізації в тарі або одноступеневої стерилізації в потоці з наступним пакуванням в асептичних умовах. Схема технологічного процесу виробництва стерилізованих вершків подібна стерилізованому молоку.

Останнім часом серед виробників галузі найбільшого поширення набуло ультра високотемпературне оброблення вершків шляхом одноступеневої стерилізації у потоці з наступним асептичним розливом (УВТ- оброблення).

Технологічний процес виробництва УВТ- оброблених вершків складається із наступних операцій:

■ приймання сировини, ■ очищення, охолодження, ■ внесення солей-стабілізаторів (за необхідністю), ■ сепарування молока, ■ нормалізація вершків, ■ попереднє нагрівання вершків, ■ відцентрове видалення дестабілізованих білків, ■ деаерація, ■ гомогенізація, ■ стерилізація, ■ охолодження, ■ пакування й маркування, ■ зберігання і транспортування.

Молоко, відібране за кількістю і якісно, очищують на сепараторах-молокоочищувачах та охолоджують до $(4\pm 2)^\circ\text{C}$.

Для збереження термостійкості виконують холодне очищення молока, тобто за температури, при якій молоко надходить на підприємство.

Якщо до моменту стерилізації вершки необхідно зберігати понад 4 години, то для збереження їх термостійкості вершки пастеризують за температури $(78\pm 2)^\circ\text{C}$ з витримкою 15...20 с з наступним охолодженням до температури $(4\pm 2)^\circ\text{C}$.

Вершки, підготовлені до стерилізації, попередньо нагрівають до температури $(83\pm 2)^\circ\text{C}$ й спрямовують до сепаратора-молокоочищувача для видалення дестабілізованих білків.

Очищені вершки з очисника надходять у деаератор для видалення кисню й інших газів під вакуумом. Падіння температури під час деаерації становить $(8\pm 2)^\circ\text{C}$.

Після деаератора вершки з температурою $(75\pm 2)^\circ\text{C}$ направляють на гомогенізацію під тиском 10... 15 МПа.

Потім гомогенізовані вершки стерилізують за температури $(137\pm 2)^\circ\text{C}$ з номінальною витримкою 4 с.

Стерилізовані вершки охолоджують до температури 20°C і спрямовують у асептичні резервуари чи на асептичний розлив.

УВТ -оброблені вершки фасують у пакети з комбінованого матеріалу місткістю 0,015; 0,2; 0,25; 0,5 й 1,0 дм³ на асептичних фасувальних автоматах.

Продукт зберігають за відсутності прямих сонячних променів при температурі 0...10 $^\circ\text{C}$ не більше 3-х місяців, а за температури 10...20 $^\circ\text{C}$ – не більше 2-х місяців.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте основні фази стану молока.
2. Який виготовляється асортимент питних видів молока?
3. Яка сировина використовується при виробництві питних видів молока та вершків?
4. Що таке молоко питне?
5. Наведіть класифікація питних видів молока, виготовлених з натуральної молочної сировини.
6. Як здійснюється управління прийманням та попереднім зберіганням молока?
7. Що таке нормалізація молока і які знаєте основні методи нормалізації?
8. Охарактеризуйте основні схеми нормалізації молока у потоці з сепаратором – вершковідділювачем.
9. Що таке гомогенізація молока і як вона здійснюється?
10. Що таке пастеризоване молоко?
11. Що використовується в якості сировини при виготовленні пастеризованого молока?
12. Наведіть загальні технологічні операції виробництва пастеризованого молока.

13. Наведіть основні параметри охолодження, розливу, пакування та зберігання пастеризованого молока.
14. Поясніть технологічні схеми нормалізації молока та вершків у потоці.
15. Поясніть технологічну схему пастеризації молока.
16. Поясніть технологічну схему виробництва пастеризованих вершків.
17. Як здійснюється виробництво стерилізованих вершків?
18. Який тиск гомогенізації та температура стерилізації вершків?
19. Який тиск гомогенізації та температура пастеризації питного молока?

3.3. Технологія вершкового масла.

3.3.1. Види масла

Вершкове масло — продукт с високою концентрацією молочного жиру, характерного серед природних жирів найбільшу харчову та біологічну цінність. Масло має приємний специфічний смак і запах, жовтий та жовтувато-білий колір, пластичну консистенцію при 10—12 °С, зберігає форму в широкому діапазоні температур (10—25°C).

В маслі традиційного хімічного складу жиру не менше 82,5%; вологи не більше 16; СОМО 1,0—1,9; солі не більше 1,5% (солоне масло).

Відомо понад 20 видів масла, що відрізняються по хімічному складу, смаку, запаху та консистенції. Якість та властивості масла залежать від методів перероби вершків, використаної сировини, смакових та ароматичних добавок.

3.3.2. Основні широкоживані види масла

■ Масло із молочних вершків (вершкове):

- традиційного хімічного складу:

солодковершкове — виготовлене із свіжих пастеризованих вершків; виробляється солоним (с добавлянням солі) и несоленым;

вологодське — із свіжих пастеризованих вершків при високих температурах пастеризації (95—97 °С); має специфічний запах, («оріховий» привкус); виробляється несоленым;

кисловершкове — виготовлене із свіжих пастеризованих вершків, сквашених чистими культурами молочнокислих бактерій; виробляється солоним и несоленым;

- нетрадиційного хімічного складу :

с підвищеним вмістом молочної плазми (не більше 20—35%): любительське, селянське, бутербродне тощо.

Витрати молока с масовою часткою жиру 3,6% на 1 т масла наступні:

- солодковершкове традиційного хімічного складу - 23,71 т;
- любительське - 22,44; селянське - 20,88; бутербродне - **17,93**.

За останній час збільшилось виготовлення масла із зниженим вмісту жиру до 70—80% виробництва загального об'єму .

3.3.3. Методи виготовлення масла

Технологія виготовлення масла основана на концентрації жирових кульок молока на сепараторах та отримуванні при цьому вершків необхідного вмісту жиру, їх подальшій термомеханічній обробці для здійснення складних фізико-хімічних процесів затвердіння гліцеридів молочного жиру, розриву оболонок жирових кульок, формування структури и консистенції кінцевого продукту.

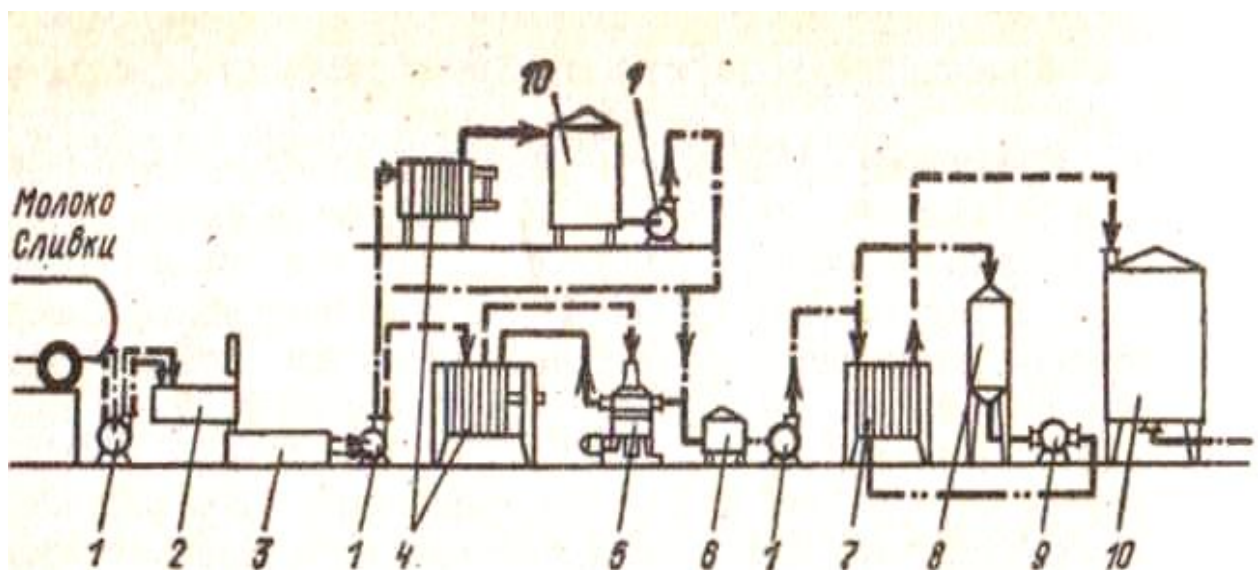
Існують **два основних методи** виробництва вершкового масла: збивання вершків в масловиготовлювачах періодичної и неперервної дії (рис. 3.10-I та 2.10.-II), а також метод перетворення високожирних вершків (рис.3.11).

При виготовленні масла методом збивання вершків (рис. 3.10-I), молоко, що надійшло на завод, зливають в ванну 3 приймання молока, звідки воно насосом 1 подається в пластинчатий теплообмінник 4. Підігріте до температури сепарування молоко надходить в сепаратор-вершковідділювач 5. Вершки з сепаратора 5, а також вершки, що надходять від інших сепараторних відділень заводу, направляються в проміжний бачок 6, звідки насосом 1 перекачуються в пластинчато-пастеризаційно-оходжувальну установку 7. Охолоджені (після пастеризації) вершки надходять у ванну, де їх витримують для визрівання. При виробництві кисловершкового масла в цій же ванні сквашують вершки.

Підготовлені до збивання вершки самопливом або під напором насоса надходять в масло-виготовлювач періодичної 21 або неперервної 12 дії, в яких послідовно відбувається збивання вершків, промивка масляного зерна и його механічна обробка с регулюванням вмісту вологи и консистенції.

При виготовленні солоного масла в масловиготовлювачах періодичної дії, сіль вносять в масляне зерно після його промивки або в пласт масла при його обробці, а в масло-виготовлювачах неперервної дії — за допомогою пристрою для соління масла.

Готове масло надходить в автомати 18 та 23 для фасування масла у брикети та коробки 19. Упакований продукт передають в маслосховище.



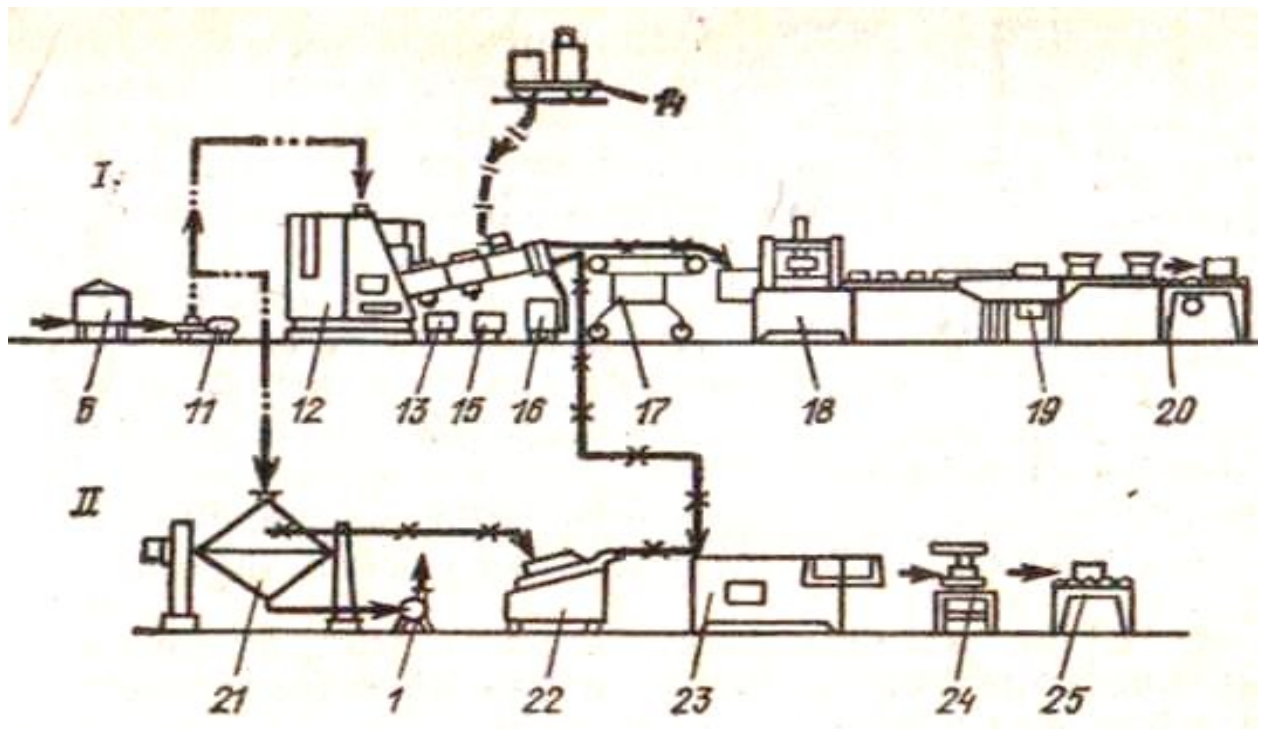


Рис. 3.10. Технологічна схема виробництва масла методом збивання вершків:

I — в масловиготовлювачах неперервної дії, *II* — в масловиготовлювачах періодичної дії: 1—насоси; 3 — ванна прийому молока; 4 — пластинчатий теплообмінник; 5 — сепаратор-вершковідділювач; 6 — проміжні бачки; 7 — пластинчатий пастеризатор - охолоджувач; 8 — дезодораційна установка; 9 — насос для вершків; 10 — ємність для вершків; 11 — гвинтовий насос; 12 — масловиготовлювач неперервної дії; 14 — пристрій для підсолювання; 21 — масловиготовлювач періодичної дії, 22 — гомогенізатор масла; 18 та 23 — фасувальні автомати, 19 - автомат-укладач; 2, 20 та 24 — ваговимірювальні пристрої.

Використовується також неперервний метод виробництва масла шляхом вакуумної обробки високожирних вершків (рис. 3.11). Суть методу в тому, що вершки жирністю 78% розпилюють в камері 7 з глибоким вакуумом. При миттєвому самовипаровуванні каплі вершків швидко охолоджуються и перетворюються в масляне зерно, яке в маслообробнику по черзі формується у пласти масла, що порушує неперервність потоку.

Нормалізовані вершки ротаційним насосом-дозатором 8 подають в циліндричний або пластинчатий маслоперетворювач 9. В останньому вони охолоджуються в тонкому шарі, змішуються и поступово перетворюються в масло, яке витікає неперервною стрічкою в приймальний ящик, де швидко твердне. Готовий продукт пакують и відправляють у маслосховище.

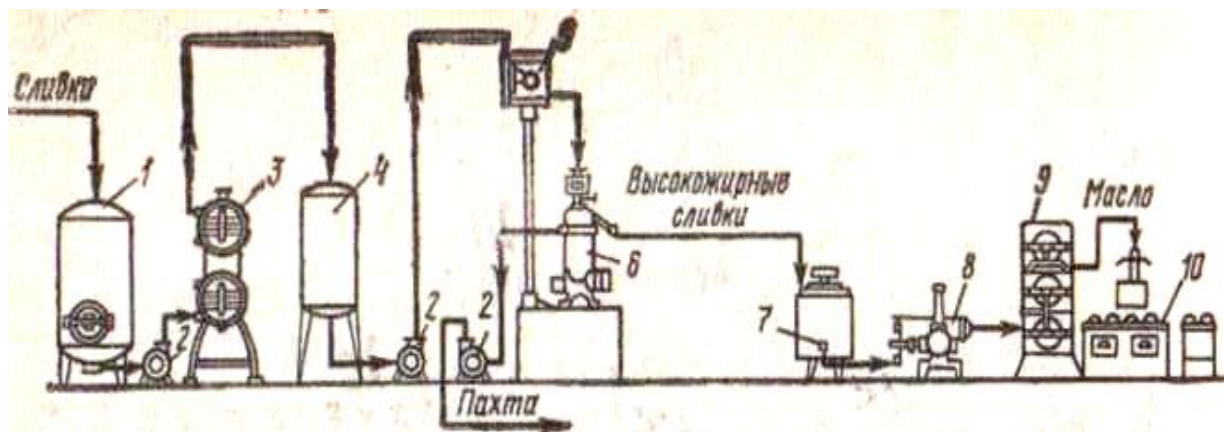


Рис. 3.11. Технологічна схема виробництва масла способом перетворення вершків великої жирності (78%): 1 — ємність для вершків; 2 — насос; 3 — трубчаста пастеризаційна установка; 4 — дезодоратор; 5 — напірний бачок; 6 — сепаратор для вершків великої жирності; 7 — ємність з камерою глибокого вакууму ; 8 — ротаційний насос-дозатор; 9 — циліндричний маслоутворювач; 10 — рольганг.

Контрольні запитання

1. Що таке вершкове масло?
2. Які знаєте основні широковживані види масла?
3. Які знаєте методи виготовлення масла?
4. Поясніть технологічну схему виробництва масла методом збивання вершків в масловиготовлювачах неперервної дії. **II** — в масловиготовлювачах періодичної дії.
5. Поясніть технологічну схему виробництва масла методом збивання вершків в масловиготовлювачах періодичної дії
6. Поясніть технологічну схему виробництва масла способом перетворення вершків великої жирності.
7. Коли вноситься сіль при виготовленні солоного масла в масловиготовлювачах періодичної дії?
8. Як вноситься сіль при виготовленні солоного масла в масловиготовлювачах неперервної дії?

3.4. Технологія продуктів із знежиреного молока

Згідно з ДСТУ 2212:2003 «Виробництво молока та кисломолочних продуктів. Терміни та визначення понять» *знежирене молоко* — це частина молока, яку одержують після відокремлення вершків.

■ Знежирене молоко отримують на підприємствах молочної промисловості після проведення загальної технологічної операції — сепарування. Вихід знежиреного молока становить приблизно 90% загальної маси незбираного молока, що підлягає сепаруванню.

■ Якість знежиреного молока залежить як від гатунку вихідного молока-сировини, так і від технічних характеристик обладнання і технологічних режимів оброблення.

■ Знежирене молоко є молочною сировиною, що містить поживні та біологічно повноцінні молочні компоненти і у яку переходить до 99,6 % усіх білків молока й до 99,5 % молочного цукру (лактози).

■ У разі проведення сепарування незбираного молока в знежирене молоко переходить лише до 1,4 % молочного жиру.

■ Як правило, вміст молочного жиру у знежиреному молоці в середньому становить 0,05 % (коливається у межах від 0,01 до 0,08 %). Середнє значення масової частки жиру у знежиреному молоці застосовують у проведенні розрахунку кислomолочних продуктів.

■ Вміст білків у знежиреному молоці коливається у межах 3,0...3,5 %, як і у незбираному молоці, вміст лактози – 4,5...4,8 %, мінеральних речовин — до 0,7 %. Загальний вміст сухих речовин становить 8,2...9,5 %.

■ У знежирене молоко також переходять небілкові азотисті сполуки, вітаміни, ферменти, імунні тіла, органічні кислоти, гормони. У ньому практично немає оболонок жирових кульок.

■ Вміст складових молока визначає вихід готової продукції, продуктивність роботи обладнання, витрати енергії на одиницю маси продукту.

■ Знежирене молоко — складна дисперсна система: істинний розчин солей і лактози, колоїдний розчин або суспензія білків та емульсія молочного жиру у плазмі.

■ **Вода** у знежиреному молоці міститься у вільному та зв'язаному стані. Частка зв'язаної води становить близько 2,5...3,5 % її загального вмісту в молоці.

■ Вільна вода є середовищем для біохімічних перетворень складових компонентів молока у багатьох технологіях і легко видаляється з нього під час згущення і сушіння.

■ **Білкові речовини** знежиреного молока ідентичні таким у молоці незбираному. **Сироваткові** (у вигляді плазми) білки утворюють колоїдний розчин, а **казеїн** (білок молока, висушений після його коагуляції та відокремлення інших складових молока) — суспензію.

■ Теплове оброблення молока **спричиняє** зсідання сироваткових білків і підвищену взаємодію між білками різних видів.

■ Здатність казеїну до осаджування є однією із найважливіших його характеристик, які зумовлюють сутність технологій молочно-білкових концентратів.

Ліпіди представлені молочним жиром, ступінь дисперсності якого набагато вищий, ніж у молоці незбираному: середній розмір жирових кульок становить близько 0,5...1,0 мкм (максимальний розмір — 2 мкм). Це пояснюється тим, що у процесі розділення молока на жирну та знежирену фракції під дією відцентрових сил при сепарації ефективніше відділяються більші за розмірами жирові кульки, а у знежиреній фракції залишаються переважно невеликі жирові кульки, які важко вилучити з молока-сировини.

Вуглеводи знежиреного молока, як і незбираного, представлені **молочним цукром — лактозою**, а також у невеликих кількостях продуктами гідролізу лактози — глюкозою й галактозою.

Мінеральні речовини знежиреного молока ті ж самі, що й у молоці-сировині, і є неорганічними сполуками — солями у вільному та зв'язаному вигляді. Їх загальний вміст у знежиреному молоці становить 0,6...0,8 %.

■ Кислотність знежиреного молока (6,5...5,7 рН), на відміну від незбираного (6,5...6,7 рН), більша в наслідок суттєвого впливу на цей показник механічного та теплового оброблення молока-сировини.

■ Підвищення густини до (1030...1035 кг/м³) та незначне зменшення в'язкості знежиреного молока (приблизно на 8... 15 %) зумовлене вилученням із нього молочного жиру.

■ Енергетична цінність знежиреного молока приблизно удвічі менша, ніж незбираного.

■ Біологічна цінність знежиреного молока зумовлюється наявністю у ньому холіну та незамінних амінокислот, яких приблизно у 1,4 рази більше, ніж у незбираному молоці.

■ З метою запобігання розвитку бактерій незбиране молоко перед сепаруванням підігрівають у потоці до температури 35... ..45 °С з подальшим охолодженням знежиреного молока до температури не вище як 8 °С і резервуванням його до перероблення.

■ Після сепарування знежирене молоко пастеризують і охолоджують в потоці із застосуванням пластинчастих пастеризаційно-охолоджувальних установок.

■ Останнє необхідно з метою запобігання надлишковому зростанню титрованої кислотності знежиреного молока. Підвищена кислотність знижує термостійкість білків молока, у першу чергу сироваткових.

Знежирене молоко — цінна молочна сировина для виробництва широкого асортименту молочних продуктів: ■ питних видів молока, ■ кисломолочних напоїв, ■ сирів натуральних нежирних, ■ сиру кисло-молочного нежирного та виробів з нього, ■ молочно-білкових концентратів, ■ молочних консервів нежирних, ■ замінників незбираного молока.

3.4.1. Низькожирні молочні напої

Нежирне та низькожирне питне молоко

Знежирене молоко широко застосовують у виробництві **нежирного та низькожирного питного молока** (з масовою часткою жиру відповідно 1,5 і 1,0 %) — пастеризованого, пряженого, стерилізованого. Крім питних видів молока, з молока знежиреного досить широко виготовляють молочні напої зі смаковими наповнювачами.

■ Загальна апаратурно-технологічна схема (рис.3.12) виробництва пастеризованого нежирного та низькожирного молока усіх видів не відрізняється від класичної схеми виробництва подібних продуктів із незбираного молока, за виключенням операції гомогенізації. ■ **Очищують**

молоко фільтруванням або сепаруванням. ■ **Нормалізацію** (у разі потреби) проводять у потоці або змішуванням (періодичну).

■ **Пастеризацію** проводять при температурі $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ з витримкою 30 с; $(76 \pm 2)^\circ\text{C}$ з витримкою 15...20 с; $(87 \pm 2)^\circ\text{C}$ без витримки; 90...99 $^\circ\text{C}$ без витримки.

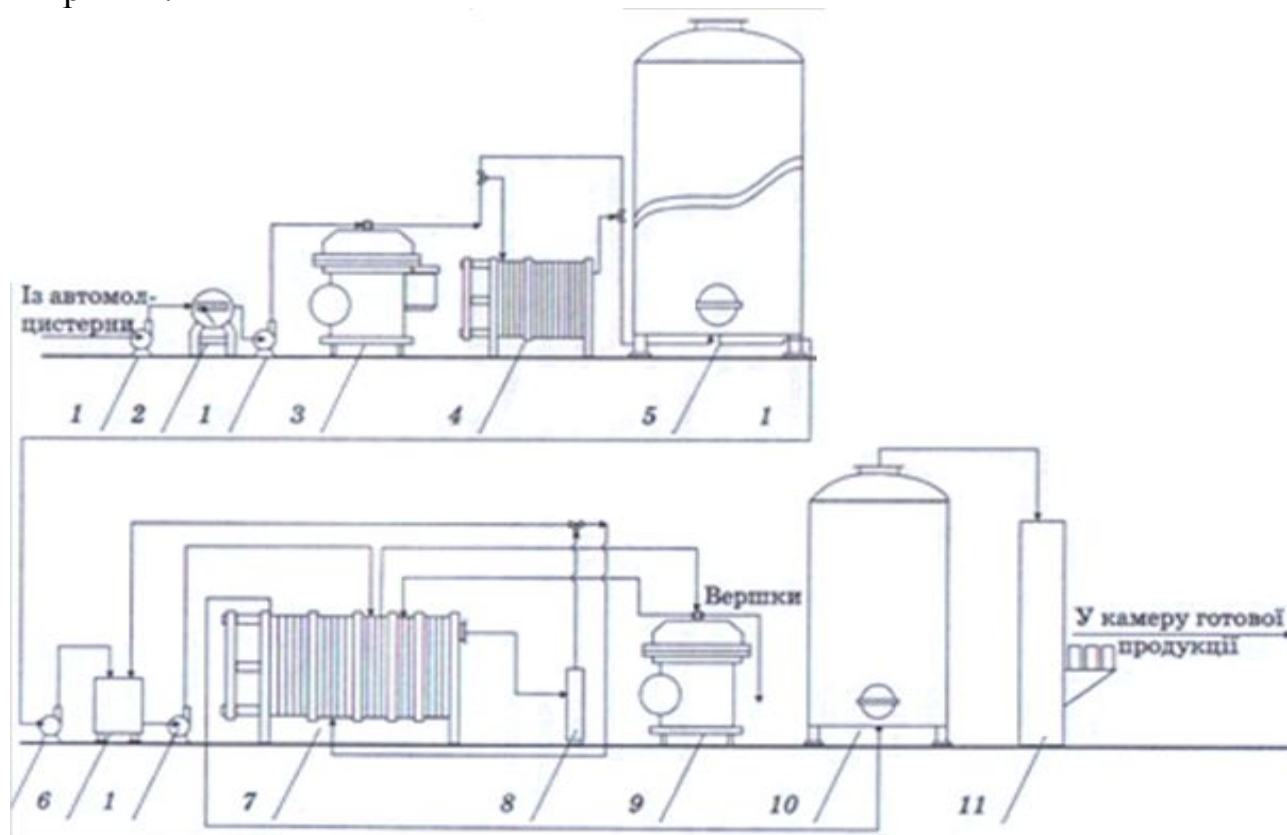


Рис. 3.12. АТС виробництва знежиреного пастеризованого молока

Останні два режими забезпечують мінімальний рівень чисельності бактерій у молоці з підвищеним вмістом механічного та бактеріологічного забруднення і для досягнення максимального ефекту застосовують подвійну пастеризацію. Пастеризоване знежирене молоко зберігають при температурі $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ за відносної вологості повітря 85-90 % до **36** год з моменту закінчення технологічного процесу, в тому числі на підприємстві-виробнику не більше як **12** год. За рахунок високотемпературної пастеризації та використання сучасних пакувальних матеріалів термін зберігання продукту може бути подовжений до **5...7** діб.

Пряжене знежирене молоко

Пряжене молоко — молоко, оброблене при температурі понад **95 $^\circ\text{C}$** . Технологічний процес виробництва пряженого молока відрізняється від класичної технологічної схеми додатковою операцією пряження. Пряження молока нежирного та 1%-ї жирності проводять у ємностях із паровою сорочкою при температурі **95...99 $^\circ\text{C}$** протягом **4...5** год. Після пряження молоко охолоджують до температури **40 $^\circ\text{C}$** у тій самій ємності, а потім до **4...6 $^\circ\text{C}$** — на охолоднику, після чого його фасують.

Стерилізоване знежирене молоко

Стерилізоване знежирене молоко виготовляють його обробкою при температурі 110... 150 °С з відповідним витримуванням. Застосовують два види стерилізації:

тривалу — у герметично укупореній тарі (110...120 °С з витримуванням 15...30 с) в апаратах періодичної, напівперіодичної та безперервної дії;

короткочасну — у потоці при температурі 135...150 °С з витримуванням 2...4 с та асептичним розливом у пакети.

До сировини у виробництві стерилізованого молока ставлять підвищені вимоги. Молоко, призначене для стерилізації, повинно бути термостійким, з мінімальною механічною та бактеріальною забрудненістю. Кислотність знежиреного молока як сировини повинна бути не більше як 19 °Т.

Термін зберігання стерилізованого молока становить від 20 діб до кількох місяців при температурі (20±2) °С.

3.4.2. Кисломолочні напої на основі знежиреного молока

Асортиментний ряд кисломолочних напоїв на основі знежиреного молока широкий. Особливість їх складу та технологій зумовлюють закваски різного складу, наповнювачі та різні температурні режими оброблення. Загальна технологія кисломолочних нежирних і низькожирних напоїв зі знежиреного молока досить стандартна та може бути здійснена термостатним й резервуарними способами і приведена на рис. 3.13.

Резервуарний спосіб виробництва кисломолочних напоїв передбачає такі технологічні операції: ■ приймання та підготовка сировини, ■ нормалізація та гомогенізація молочної сировини (в разі потреби), ■ пастеризація, ■ охолодження до температури заквашування, ■ заквашування та ■ сквашування, ■ перемішування згустку ■ та його охолодження, ■ внесення наповнювачів (у разі потреби), ■ фасування та упакування, ■ зберігання та реалізація готового продукту.

Термостатний спосіб виробництва кисломолочних напоїв відрізняється тільки тим, що після заквашування заквашена суміш розливається у споживчу тару або упакування і її сквашування відбувається у споживчій тарі, а після закінчення сквашування - готовий продукт охолоджується, зберігається та реалізується.

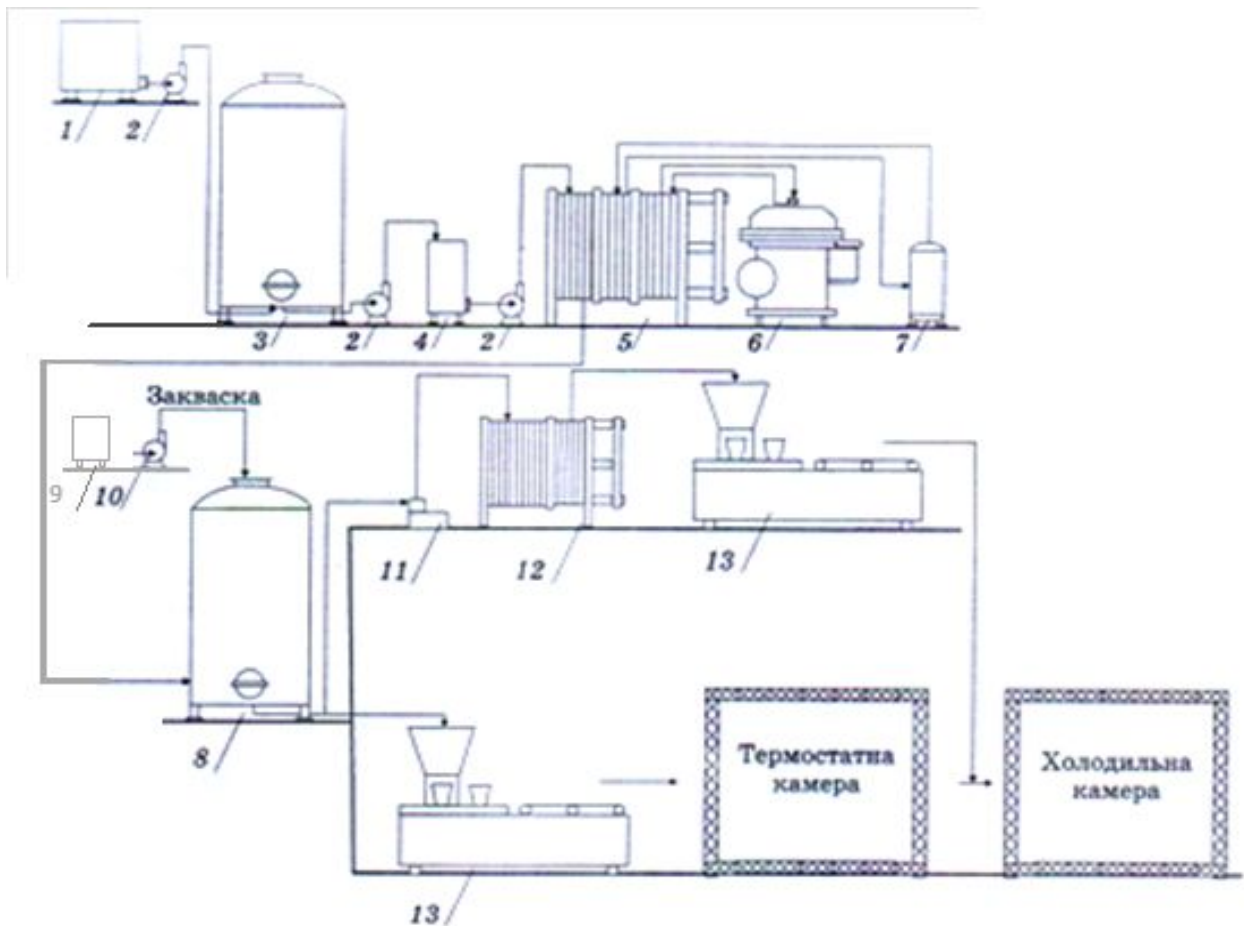


Рис. 3.13. АТС виробництва незжирених кисломолочних напоїв

Виробництво кефіру нежирного та низькожирного 1%-го.

Кефір — це кисломолочний продукт змішаного молочнокислого та спиртового бродіння, який виробляють сквашуванням молока симбіотичною закваскою на кефірних грибках або концентратом грибової кефірної закваски.

Кефіром не вважають продукт, збагачений вітамінами, мікро- та макроелементами, пробіотичними культурами або іншими добавками.

■ Кефір має однорідну в'язку консистенцію з порушеним згустком за резервуарного способу виробництва, з непорушеним — за термостатного способу.

■ При герметичному спожитковому пакуванні з дозволено незначне роздуття кефіру у упаковці, що спричинене газоутворенням внаслідок дії мікрофлори закваски.

■ За фізико-хімічними показниками кефір повинен відповідати таким вимогам: масова частка білка — не менше як 2,7 %, титрована кислотність — не більша як 130 °Т, активна — до 4,0 од. рН, температура під час випуску з підприємства (4 ± 2) °С.

■ Після нормалізації контролюють масову частку жиру і густину суміші, яка перед сквашуванням має становити для кефіру 1% за вмістом жиру — 1029 кг/м³.

■ Нормалізовану суміш підігрівають до 45 °С, очищують на відцентрових молокоочисниках, пастеризують при температурі 94°С з витримкою 5...10 с або

85...87 °С з витримкою 15 с та гомогенізують (у разі потреби). Допускається витримка молока при цих температурах до 30...40 с.

■ Охолоджену до температури 23...25 °С суміш заквашують і сквашують у резервуарах для кисломолочних продуктів.

■ Грибкову закваску (змиви з кефірних грибків) або виробничу кефірну закваску відповідно масою 1...3 % або 3...5 % маси нормалізованої суміші вносять або у потоці одночасно з молочною сумішшю, або перед її подаванням у резервуар. Суміш ретельно перемішують, мішалку вимикають через 15 хв після закінчення заповнювання резервуара

■ Суміш сквашують при температурі 23...25 °С до утворення згустку кислотністю 85... 100 °Т. ■Сквашену суміш охолоджують у резервуарі подаванням холодної води у міжстінний простір і перемішуванням. ■ Молочний згусток перемішують періодично через кожні 60...90 хв, тривалість перемішування 10...30 хв. ■ Тривалість охолодження до температури визрівання становить 6 год, після чого згусток, охолоджений до температури 14 °С, залишають для визрівання до 10... 13 год.

Визрівання кефіру вважається завершеним, якщо з моменту заквашування до закінчення визрівання минуло не менше як 24 год. Після завершення процесу визрівання кефір перемішують і подають на фасування.

За термостатного способу ■ нормалізовану (в разі потреби), ■ пастеризовану суміш ■ охолоджують до температури 18...21 °С влітку та 22...25 °С зимою, ■ заквашують, ■ ретельно перемішують і ■ подають на фасування. Розлив одного резервуара заквашеної суміші має закінчитися не пізніше як за 40 хв, щоб запобігти утворенню пластівців білка сквашеного молока. Заквашену суміш розливають, перемішуючи для запобігання осаджуванню закваски.

Розфасовану у тару суміш подають у термостатну камеру для сквашування. Температуру в камері встановлюють 28...21 °С влітку і 23...25 °С зимою. Процес сквашування триває 8...12 год. Закінчення сквашування визначають за показником титрованої кислотності, яка повинна становити 75...80 °Т. Після закінчення сквашування молочний згусток подають у холодильну камеру, де він поступово охолоджується до температури 6 °С, визріває 8... 13 год, після чого технологічний процес вважається завершеним і продукт готовий до реалізації.

Для виробництва кефіру з подовженим терміном зберігання молоко пастеризують при температурі 95 °С з витримкою до 10 хв.

Пастеризовану суміш негайно охолоджують до температури 22... ..28 °С і вносять заквашувальний препарат так, щоб виключити можливість вторинного обсіменіння.

Сквашування триває 12... ..16 год до рН згустку 4,4...4,7, після чого його перемішують і охолоджують до 16...20 °С. Визрівання продукту можна проводити в тих резервуарах, де відбувалося сквашування, або в холодильній камері. Кефір розливають у герметичну тару. Термін придатності до споживання кефіру при температурі 4 °С — до 14 діб.

3.4.3. Сир кисломолочний нежирний та низькожирний

Кисломолочний сир — це білковий кисломолочний продукт, що містить переважно казеїн і сироваткові білки і який виробляють сквашуванням молока заквашувальними препаратами із застосуванням способів кислотної або кислотно-сичужної коагуляції білка.

Кисломолочним сиром не вважається готовий продукт, підданий тепловому обробленню. Кисломолочний сир, залежно від масової частки жиру, поділяють на нежирний та з масовою часткою жиру від 2 до 18 %. Консистенція сиру повинна бути м'якою, мазкою або розсипчастою, дозволено незначну крупинчастість і незначне виділення сироватки. Масова частка білка у сирі не менша як 14 %, масова частка вологи — 65...80 %, титрована кислотність — 170...250 °Т. Показник масової частки жиру для кисломолочного сиру нежирного не нормують. Кисломолочний сир з терміном зберігання менше як 72 год не контролюють на наявність дріжджів і пліснявих грибів.

Для виробництва кисломолочного сиру використовують: молоко коров'яче незбиране; молоко знежирене, кислотністю не більше як 20 °Т, одержане з коров'ячого молока; закваски або заквашувальні препарати прямого внесення, пепсини харчові, препарати ферментні, різновиди хлориду кальцію, воду питну.

Сир зі знежиреного молока виготовляють нежирним (нежирний, м'який дієтичний нежирний, м'який дієтичний нежирний плодово-ягідний) або з частковим додаванням незбираного молока — низькожирний («Селянський», «Столовий», м'який дієтичний 4%-ї жирності).

Технологія сиру кисломолочного зі знежиреного молока залежить від обладнання та способу коагуляції білків молока. Сир кисломолочний зі знежиреного молока можна виготовляти у ваннах ВК-2,5 та сировиготовлювачах ТІ-4000 кислотним і сичужно-кислотним способами, на лініях Я9-ОПТ та у ваннах - сітках — кислотним способом.

За кислотним способом виробництва сиру кисломолочного молоко сквашують до отримання згустку кислотністю (80±5) °Т — для «Селянського», (85±5) °Т — для нежирного. Тривалість сквашування молока становить 8...12 год від моменту внесення закваски.

На механізованій лінії Я9-ОПТ, що приведена на рис. 3.14, під час виробництва сиру кисломолочного «Селянського» та знежиреного згусток отримують у потоці.

Знежирене або нормалізоване молоко пастеризують при температурі (78±2) °С з витримкою протягом 20...30 с або (90±2) °С з витримкою 10... 20 с і охолоджують до температури заквашування 24...28 °С у весняно-літній період та 26...30 °С — в осінньо- зимовий.

Нормалізоване молоко перед пастеризацією нагрівають до температури (60±5) °С і гомогенізують під тиском (7,5±2,5) МПа.

Охолоджене до температури заквашування молоко надходить у резервуар для сквашування, в який вносять закваску у кількості 1...10% маси молока.

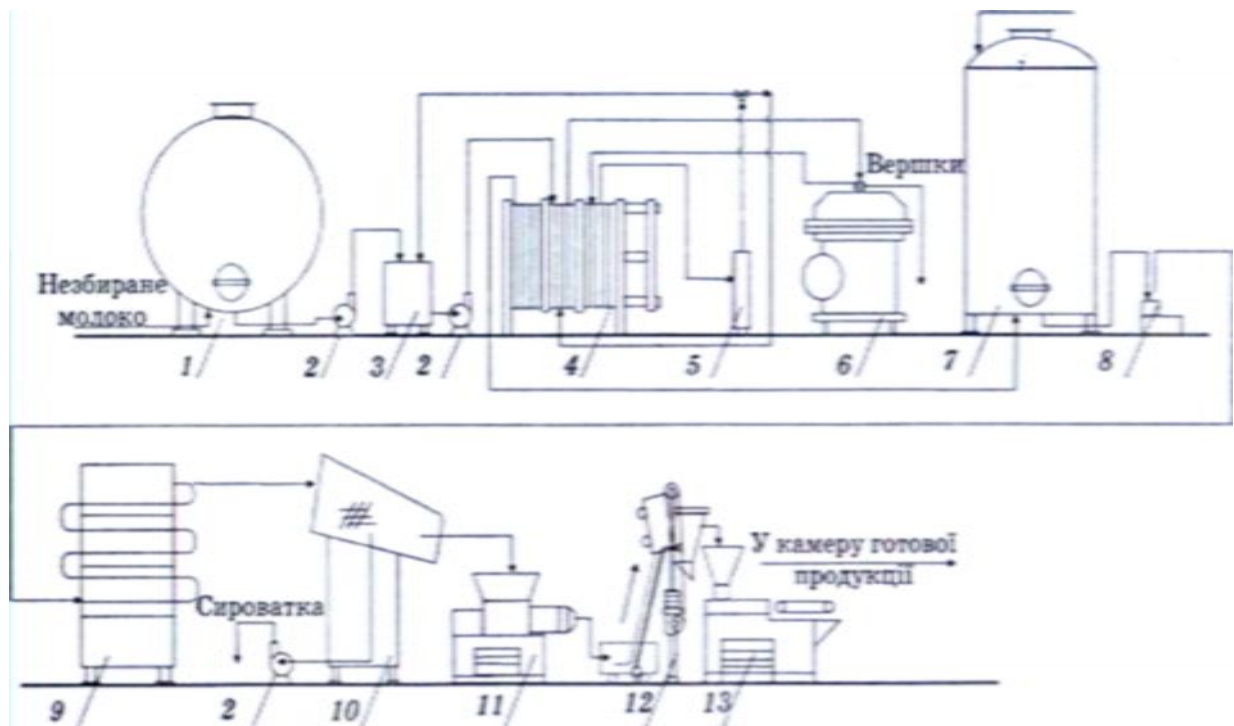


Рис. 3.14. Апаратурно-технологічна схема виробництва сиру кисломолочного нежирного на лінії Я9-ОПТ: 1 — резервуар; 2 — відцентровий насос; 3 — зрівнювальний бачок; 4 — пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна установка; 5 — пульт керування; 6 — сепаратор-вершковіддільник; 7 — резервуар для сквашування знежиреного молока; 8 — насос для сирного згустку; 9 — апарат теплової обробки згустку; 10 — зневоднювач сирного згустку; 11 — охолодник; 12 — підйомник; 13 — фасувальник.

Заквашене молоко ретельно перемішують і залишають у спокої до 10 год для сквашування. Процес вважається закінченим за титрованої кислотності згустку 90 °Т для сиру кисломолочного «Селянського» і 80...95 °Т — для нежирного.

Готовий згусток перемішують протягом 2...5 хв і гвинтовим насосом подають у трубчастий теплообмінник, що складається з підігрівника, витримувача і охолодника.

У підігрівнику згусток підігрівають до температури 46... 52 °С для сиру «Селянського» і 42...50 °С — для нежирного.

З підігрівника згусток подають у видержувач на 1... 1,5 хв, потім — в охолодник для охолодження до температури 30...40 °С для сиру кисломолочного «Селянського» і 25...35 °С — для нежирного. Потім продукт надходить на двоциліндровий зневоднювач. Охолоджують продукт до температури 8... 12 °С на охолоднику, а доохладжують до (4 ± 2) °С у холодильній камері після фасування.

Контрольні запитання

1. Що таке поняття *знежирене молоко* і який його склад?
2. Які знаєте способи виробництва кисломолочних напоїв?
3. Яка послідовність операцій при виробництві кисломолочних напоїв?

4. Які вимоги до сировини при виробництві кисломолочних напоїв?
5. Які режими пастеризації та теплової обробки використовуються при виробництві кисломолочних напоїв?
6. Які шляхи подовження термінів придатності до споживання кисломолочних напоїв?
7. В чому суть резервуарного способу виробництва кефіру?
8. В чому суть термостатного способу виробництва кефіру?
9. Як виготовляють кефір з подовженим терміном зберігання?
10. Що таке кисломолочний сир?
11. Що використовують для виробництва кисломолочного сиру?
12. Поясніть апаратурно-технологічна схема виробництва сиру кисломолочного нежирного на лінії Я9-ОПТ і її особливості.
13. Чим відрізняються резервуарний та термостатний спосіб виробництва кисломолочних напоїв?

4. СПИРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО.

4.1. Загальна технологія виробництва спирту.

4.1.1. Технологічна схема

У спиртовій промисловості ректифікований спирт одержують виключно з бражки, що вважається економічно більш доцільним ніж зі спирту-сирцю. Весь технологічний процес виготовлення ректифікованого спирту можна поділити на дві частини: приготування бражки та брагоректифікацію.

Бражку готують з двох типів сировини: зерно-картофельної (крохмалевмісної) та мелясної (цукровмісної). На рис.4.1 показаний процес виробництва спирту з крохмалевмісної сировини. Сировиною може бути будь яка зернова культура: пшениця, ячмінь, жито, кукурудза, просо та овес.

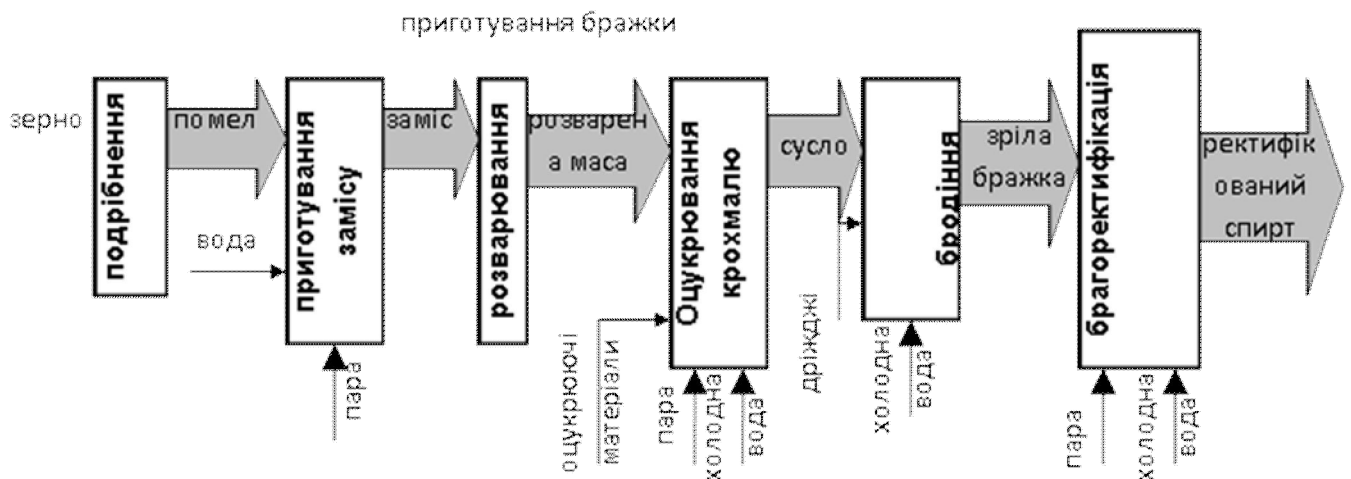
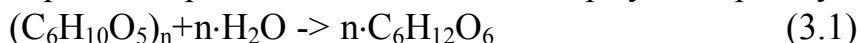


Рис. 4.1. Схема технологічного процесу виробництва спирту з крохмалевмісної сировини

В середньому зерно складається з 14% води і 86% сухих речовин. Сухі речовини містять 84% органічних і 2% мінеральних речовин, у тому числі у %: крохмаль – 52, цукри – 3, клітковина – 6, пентазани й пектинові речовини – 9, азотні речовини – 11, жир – 3. Оскільки в процесі анаеробного бродіння тільки

цукри можуть перетворитися в етиловий спирт (етанол), для цієї сировини крохмаль попередньо виділяють і оцукрюють до цукрів.

Спочатку зерно подрібнюють для зруйнування його клітинної структури. Помел зерна змішують з водою для отримання замісу, який потім розварюють з метою вивільнення крохмалю з клітин та переведення його в розчинний стан. Температура розварювання залежить від дисперсності помелу та технологічної схеми. Далі відбувається оцукрювання розвареної маси, метою якого є гідроліз крохмалю $(C_6H_{10}O_5)_n$ та білків ферментами оцукрюючих матеріалів – солоду або ферментних препаратів мікробного походження. Формула гідролізу крохмалю:



В результаті процесу гідролізу отримують сусло зі значним вмістом цукрів $(C_6H_{12}O_6)$, яке подається на зброджування. При зброджуванні сусла під впливом дріжджів проходить процес хімічного перетворення цукрів в етиловий спирт (C_2H_5OH) та інші супутні сполуки. Формула анаеробного (без доступу повітря) бродіння:



При бродінні виділяється вуглекислий газ та теплота.

Зброджене сусло (зрілу бражку) подають на брагоректифікаційну установку, для виділення з неї очищеного від домішок етилового спирту.

При використанні в якості сировини меляси (залишок цукрового виробництва з великим вмістом цукру) технологічна схема значно спрощується, оскільки немає необхідності в оцукрюванні крохмалю. Мелясу попередньо обробляють антисептичними речовинами, розбавляють водою до необхідної концентрації і подають на зброджування.

4.1.2. Види спирту.

У Україні виробляють наступні види товарних спиртів:

1) Спирт етиловий – сирець (ГОСТ 131-67):

- a. із зерна картоплі або із зерна і картоплі: етанол ≥ 88 %об, альдегідів (в перерахунку на оцтовий) ≤ 300 мг/л; сивушного масла (в перерахунку ізоаміловий/ізобутиловий спирти як 3:1) ≤ 5000 мг/л, ефірів (оцтово-етиловий) ≤ 500 мг/л, метанол $\leq 0,13$ об;
- b. із суміші цукро- й крахмалевмісної сировини: показники аналогічні попереднім;
- c. із меляси: показники аналогічні попереднім за винятком концентрації ефірів ≤ 700 мг/л, по метанолу не перевіряється;

2) Спирт етиловий ректифікований (ГОСТ 5962-67):

- a. 1-го сорту: етанол ≥ 96 %об, альдегідів ≤ 10 мг/л; сивушного масла ≤ 15 мг/л, ефірів ≤ 50 мг/л, метанол $\leq 0,05$ об;
- b. "вищої очистки": етанол $\geq 96,2$ %об, альдегідів ≤ 4 мг/л; сивушного масла ≤ 4 мг/л, ефірів ≤ 30 мг/л, метанол $\leq 0,05$ об;
- c. "екстра": етанол $\geq 96,5$ %об, альдегідів ≤ 2 мг/л; сивушного масла ≤ 3 мг/л, ефірів ≤ 25 мг/л, метанол $\leq 0,03$ об;
- d. "люкс": етанол $\geq 96,3$ %об, альдегідів ≤ 2 мг/л; сивушного масла ≤ 2 мг/л, ефірів ≤ 18 мг/л, метанол $\leq 0,03$ об;

- 3) Спирт етиловий ректифікований з меляси високоякісний (ДСТУ 3099-95): етанол $\geq 96,3$ %об, альдегідів ≤ 2 мг/л; сивушного масла ≤ 3 мг/л, ефірів ≤ 22 мг/л;
- 4) Спирт етиловий технічний (ТУУ 18.462.98):
 - а. категорія А: етанол ≥ 96 %об, альдегідів ≤ 10 мг/л; сивушного масла ≤ 10 мг/л, ефірів ≤ 50 мг/л;
 - б. категорія Б: етанол ≥ 92 %об, альдегідів ≤ 50 мг/л; сивушного масла ≤ 200 мг/л, ефірів ≤ 200 мг/л;
 - в. категорія В: етанол ≥ 96 %об, альдегідів ≤ 500 мг/л; сивушного масла ≤ 5000 мг/л, ефірів ≤ 700 мг/л;
- 5) Фракція головна етилового спирту (ТУ 10-0334797-10-91):
 - а. з меляси: етанол ≥ 92 %об, альдегідів ≤ 2 мг/л; сивушного масла ≤ 1000 мг/л, ефірів ≤ 30000 мг/л, метанол $\leq 0,05$ об;
 - б. з крохмалевмісної сировини: етанол ≥ 92 %об, альдегідів ≤ 10 мг/л; сивушного масла ≤ 2000 мг/л, ефірів ≤ 30000 мг/л, метанол $\leq 1,5$ об;
- 6) Абсолютний спирт: етанол $\geq 99,8$ % об.

Контрольні запитання

1. З яких видів сировини готують спиртову бражку на спиртових підприємствах України?
2. Поясніть технологічну схему приготування спирту з крохмалевмісної сировини.
3. Які основні хіміко-технологічні процеси проходять при виробництві спирту?
4. Які види товарних спиртів виробляють в Україні?

4.2. Виробництво бражки з крохмалевмісної речовини

4.2.1. Загальні принципи

Технологічні процеси приготування бражки на спиртових заводах України можуть відрізнятися. На сьогоднішній день все ширше використовують технологічні процеси приготування спиртової бражки при низькотемпературному розварюванні з використанням концентрованих ферментних препаратів. Процес може бути здійснений за трьома схемами:

1. Низькотемпературна термоферментативна обробка замісів з оцукрюванням розрідженого замісу в оцукрювачі;
2. Низькотемпературна термоферментативна обробка замісів з оцукрюванням розрідженого замісу в бродильному апараті;
3. Середньотемпературне розварювання замісів при температурі $110-120$ °С з використанням типового обладнання класичних схем розварювання при надлишковому тиску.

Підготовка крохмалевмісної сировини до зброджування в етиловий спирт складається із таких технологічних стадій: очищення та подрібнення сировини, змішування помелу з водою (приготування замісу), попередній підігрів замісу, водно-теплова обробка сировини (розварювання та розрідження замісу), оцукрювання розвареної маси.

4.2.2. Зберігання, очищення та подрібнення сировини

Зерно, що надходить на виробництво зберігається у зерноосховищах. При попаданні на виробництво його очищують від пилу, бруду, камінців та інших домішок на зернових магнітних сепараторах чи зерноочисних машинах з магнітним пристроєм.

Очищене зерно подають на подрібнення. Для низькотемпературної обробки зерно необхідно тонко подрібнювати, оскільки якість і рівномірність помелу, в значній мірі, обумовлює температуру та термін термоферментативної обробки (**ТФО**) сировини і рівень втрат вуглеводів, що зброджуються.

4.2.3. Приготування замісу

Подрібнене зерно подається в збірник замісу, де при постійному перемішуванні проходить приготування замісу. В змішувач безперервно подають гарячу воду (як правило з дефлегматорів колон) та фільтрат барди в кількості 20-30% до об'єму води для замісу. Співвідношення подрібненого зерна та води становить 1:2,5 – 1:3,5, для забезпечення концентрації сусла порядку 18-20% за цукроміром.

Температуру замісу підтримують в межах 50-60 °С. При такій температурі відбувається часткова клейстеризація крохмалю сировини. В'язкість замісу зростає. Необхідну температуру замісу підтримують шляхом змішування певних об'ємів холодної і гарячої води. Потрібну кількість води забезпечують з використанням стабілізації витрати.

Для ефективного змішування помелу з водою використовують дисмембратор та перемішувачий пристрій. Для розрідження замісу та забезпечення його транспортування по трубопроводах, в змішувач задають термостабільний розріджуючий ферментний препарат альфа-амілазу. У змішувачі, завдяки дії розріджуючого ферменту, проходить частковий гідроліз крохмалю, в'язкість замісу зменшується.

4.2.4. Розварювання та розрідження замісу (термоферментна обробка ТФО)

Мета **розварювання замісу** – вивільнення крохмалю з клітин та переводу в розчинний стан. На вітчизняних спиртових заводах використовують неперервно-діючі установки для розварювання замісів. Типовими схемами установок для високотемпературного розварювання є: ємкісна (Мічурінська), трубчаста (Мироцька) або комбінована (Немирівська).

При низькотемпературній ТФО, частково розріджений заміс із змішувача насосом подають в контактну головку, де він підігрівається до температури 90-100 °С. Підігріта маса із контактної головки направляється в апарат термоферментативної обробки, де вона витримується при температурі 70-93 °С, при постійному механічному перемішуванні. Час перебування замісу у апараті ТФО залежить від виду сировини та технологічних операцій приготування спиртової бражки, орієнтовно біля 2 годин. Співвідношення тривалості і температури обробки повинно забезпечити ефективну пастеризацію замісу та його мікробіологічну чистоту.

В апараті під дією температури, механічного перемішування та розріджуючого ферменту, в основному, закінчується розрідження крохмалю.

4.2.5. Оцукрення розрідженого замісу

Мета **оцукрювання** – гідроліз крохмалю ферментами. **Сусло** (спиртового виробництва) – охолоджена розварена маса, оброблена ферментами оцукрюючи матеріалів. Процес оцукрювання складається з таких стадій: охолодження розвареної маси до температури оцукрювання, змішування з оцукрюючим матеріалом, оцукрювання крохмалю, охолодження сусла до початкової температури бродіння.

Розварена та розріджена маса поступає в оцукрювач, де при температурі 56-60 °С змішується з оцукрюючим ферментом. Термін оцукрення складає 20-60 хв.

В оцукрювачі завершується розрідження залишків крохмалю та проходить його оцукрення до зброджувальних вуглеводів. Повноту оцукрювання крохмалю контролюють кожну годину. Процес оцукрення закінчується в бродильному апараті під дією цього ж ферменту.

4.2.6. Характеристика дріжджів

В спиртовому виробництві для перетворення цукрів сусла в спирт використовують **дріжджі-сахароміцети**, які є одноклітинними мікроорганізмами класу сумчастих грибів. До умов, які забезпечують нормальну життєдіяльність дріжджів, перш за все належить температура, рН та склад живильного середовища.

Норм. температура 30 °С, 5-38 °С розмножуються, при 50 °С – гинуть.

рН – 4.8-5.0 розмножуються, від 2-8 живуть.

Живлення – вуглецеве, азотне, фосфорне.

Наряду з дріжджами можуть попасти і інші мікроорганізми, які зменшують вихід спирту та збільшують кількість домішок.

4.2.7. Приготування виробничих дріжджів

Виробничими дріжджами спиртового виробництва називають зброджене сусло для дріжджів, масова частка сухих речовин у якому зменшилася до 1/3 від початкової, з вирощеними дріжджами високої концентрації.

Засівні або маточні дріжджі – природно чиста культура дріжджів, вирощена на стерильному суслі і призначена для подальшого розмноження.

Дріжджі розводять із чистої культури на початку виробничого сезону, шляхом послідовного пересіву в стерильних умовах з доведенням об'єму середовища до виробничої дріжджанки.

Для зменшення розвитку кислотоутворюючих бактерій, сусло на якому вирощуються виробничі дріжджі підкислюють до рН нижче 4 сірчаною кислотою (**сірчано-кислі дріжджі**) або молочною кислотою (молочно-кислі дріжджі).

Існують періодичний, напівнеперервний і неперервний способи культивування дріжджів. Сутність періодичного заключається в тому, що всі операції підготовка сусла, ввід посівних дріжджів, їх вирощування, вивід

дріжджів, промивка стінок та їх стерилізація проводять послідовно в одному апараті – **дріжджанці**. Місткість приблизно 8% від бродильного апарата, а кількість – стільки як бродильних або більше. Для короточасного збереження певної кількості виробничих дріжджів для розмноження використовують **маточний апарат** (10 % місткості дріжджанки).

У підготовлену (вимиту, простерилізовану і охолоджену дріжджанку) набирають сусло з оцукрювача при температурі 58 °С концентрацією 17% СР, пастеризують при 80-85 °С протягом 30 хв, охолоджують до 50 °С і підкисляють сірчаною кислотою до рН 3,9-4,1. Після охолодження до 30 °С засівають дріжджі в кількості 8-10% до його об'єму і залишають на бродіння при тій же температурі. При видимій концентрації 1/3 від початкової дріжджі вважають дозрілими (порядку через 18-20 годин). 8-10 % відбирають в маточний збірник, інші в бродильний апарат. Якщо використання дріжджів затримується – їх охолоджують.

4.2.8. Зброджування сусла

Бродіння проводиться в бродильних апаратах. Крім бродіння відбувається до оцукрювання крохмалю. Сусло, що бродить – **бражка**, зброджене сусло – **зріла бражка**.

На спиртових заводах України застосовують періодичний спосіб зброджування, де всі операції від початку до кінця проводять в одному **бродильному апараті**.

Виробничі дріжджі вносять у бродильний апарат, який потім поступово заповнюють суслом. Кількість виробничих дріжджів 8-10% від об'єму сусла. Бродіння проходить протягом 72 годин (18-20 °С), інколи допускається до 48 годин (початкове 24-25 °С, головне 29-30 °С, зброджування 27-28 °С). Вважається закінченим, якщо вміст СР 0,2-0,3 г/100 мл і не змінюється протягом 2-3 год.

Тривалість наповнення апарату повинна бути меншою ніж 8 год.

4.2.9. Автоматизоване управління процесами відділення підробітки зерна і приготування замісу

Схема автоматизації для системи управління відділенням підробітки зерна і приготування замісу показана на рис.4.2. Зерно зі складу системою транспортерів (I) і норією (II) подається на приймальний бункер (III), з якого поступає на очистку в сепаратор (IV), і далі через проміжний бункер (V) на порційні ваги (VI), які забезпечують контроль загальної кількості зерна, що поступає на виробництво. Далі потік зерна направляється транспортером (VII) та норією (VIII) в бункер-накопичувач (IX), з якого попадає в подрібнюючий пристрій (X). Розмолоте зерно поступає в змішувальну камеру змішувача-передрозварювача (XI), де перемішується з водою в однородну масу – заміс. Із змішувальної камери заміс подається в камеру передрозварника, де нагрівається вторинною парою.

Основними задачами на ділянці підробітки зерна є дистанційне управління, блокування та сигналізації роботи системи машин і механізмів, яка забезпечує

транспортування зерна зі складу на переробку по певному маршруту. Для цього автоматична система управління, сигналізації та блокування, в електричну схему якої поступають сигнали про вимірювання частоти обертів електродвигунів норій і транспортерів від реле швидкості (1-1 – 4-1) та рівня зерна в бункерах від мембранних датчиків рівня (5-1 – 7-1). Автоматичний облік кількості зерна, яке поступає на склад в переробку, забезпечують контактний датчик 8-1, який при кожному відвісі порційних ваг формує електричний імпульс, і лічильник електроімпульсів 8-2, встановлений на щиті. Продуктивність (навантаження) головних ділянок встановлюється АСР витрати зерна, в склад якої входять витратомір зерна 9-1, вторинний реєструючий прилад з пневмоперетворювачем 9-2, вторинний пневматичний прилад 9-3 з ПІ-регулятором 9-4 і виконавчий пристрій 9-5, в якості якого використовується регулююча заслінка (шибер) з пневматичним мембранним виконавчим механізмом.

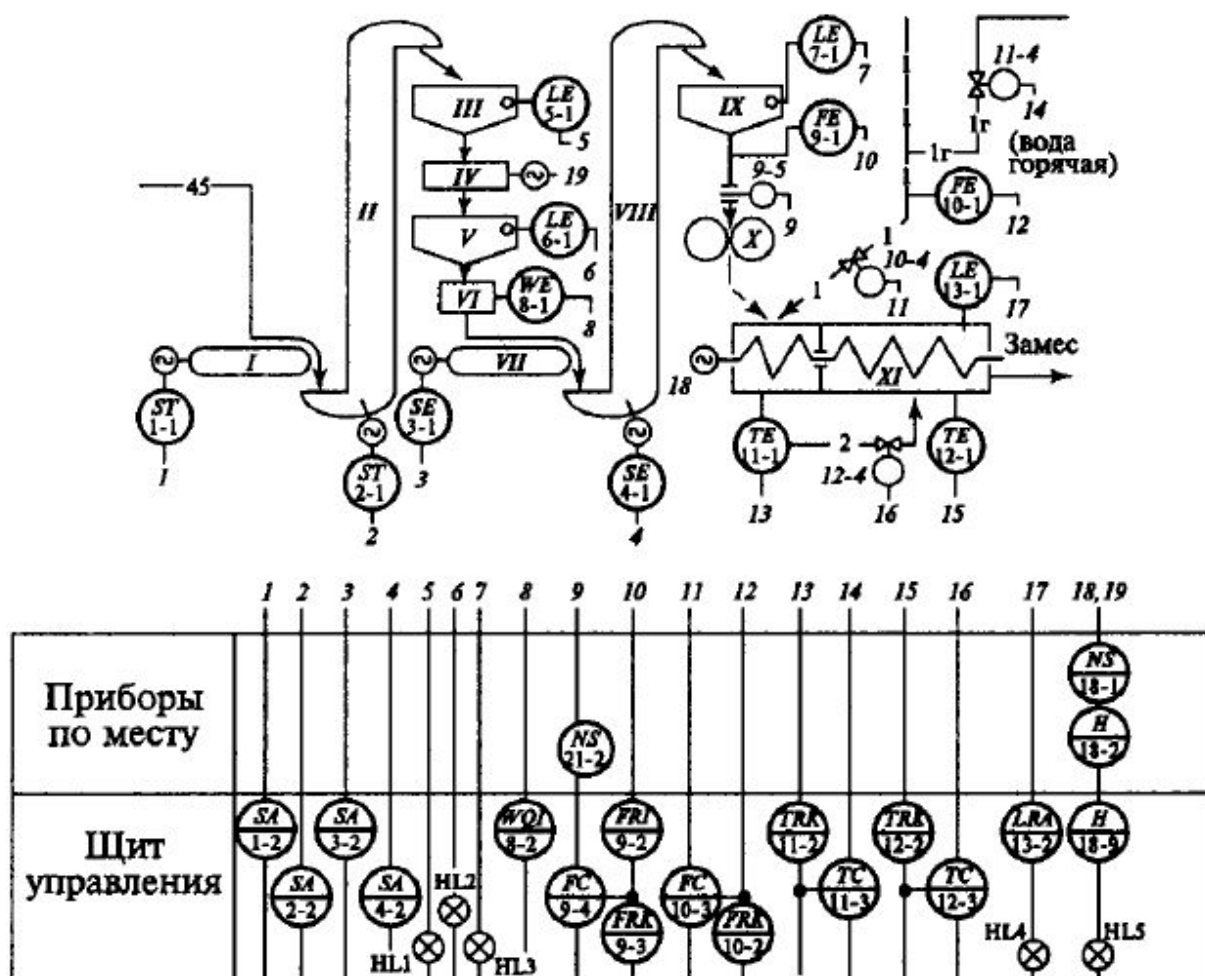


Рис.4.2. Схема системи управління відділенням підробітки зерна і

Основною задачею управління на стадії приготування замісу є отримання певної концентрації в замісі крохмалу, що забезпечує АСР співвідношення витрат зерна та води, які поступають в предрозварник-змішувач. Витрата води вимірюється ротаметром 10-1 з пневмовиходом, сигнал з якого поступає на вторинний прилад 10-2 а далі на регулятор співвідношення 10-3 в якості регульованої змінної. Пневмосигнал, пропорційний витраті зерна, з

пневмоперетворювача вторинного приладу 9-2 присутня на регулятор співвідношення в якості завдання. Командний сигнал з виходу регулятора співвідношення подається на привод регулюючого клапану 10-4 подачі води. Схемою автоматизації передбачено регулювання температури в камері змішування і камері предрозварника, а також рівня суміші в камері предрозварника. Обі АСР температури складаються з датчиків – манометричних термометрів з пневмовиходом 11-1 і 12-1, вторинних приладів 11-2 і 12-2 з ПП-регуляторами 11-3 і 12-3 і регулюючих клапанів 11-4 на лінії подачі холодної води в змішувач і 12-4 на лінії подачі пари в предрозварник. Для вимірювання рівня розвареної маси служить датчик 13-1 в комплекті з вторинним приладом 13-2.

4.2.10. Автоматизоване управління процесами ділянкою розварювання

В схемі автоматизації ділянки розварювання (рис.4.3) замість з предрозварника-змішувача подається плунжерним насосом І в контактну головку ІІ, де нагрівається гострою парою, і далі в варочну колону ІІІ першої ступені, куди також подається гостра пара. Далі розварена маса поступово проходить через варочні колони ІV другої ступені і попадає на сепаратор V, де від неї відокремлюється пар. Основними задачами управління в цьому відділенні являється стабілізація температурного режиму розварювання, а також підтримка заданої продуктивності (нагрузки), яка визначається необхідністю відділення оцукрювання.

Стабілізацію температурного режиму забезпечують АСР температури маси на виході із контактної головки і АСР температури в першій варочній колоні, які однотипні. Датчиками температури служать манометричні термометри 2-1 і 3-1 з пневмовиходом, сигнал з яких подається на вторинні прилади 2-2 і 3-2 з ПП-регуляторами 2-3 і 3-3 а далі на регулюючі клапани 2-4 і 3-4, встановлені на трубопроводі подачі пари у відповідний апарат. Продуктивність ділянки визначається витратою замісу, який регулюється АСР рівня в сепараторі 5. При зміні споживання розжарюваної маси відділенням оцукрювання, наприклад при його збільшенні, рівень в сепараторі знижується. Пневматичний сигнал від датчика рівня 5-1 поступає на вторинний прилад 5-2 з ПП-регулятором 5-3 а далі на регулюючий клапан 5-4, який збільшує витрату замісу, приводячи його у відповідність з витратою розвареної маси.

Автоматичний контроль витрати замісу проводиться за допомогою індукційного витратоміра 1-1 – 1-2. Стабілізацію рівня в останній варочній колоні другої ступені робить АСР, яка складається із рівноміра 4-1, вторинного приладу 4-2 з регулятором 4-3 і регулюючого клапану 4-4 на лінії переток маси в сепаратор. Для стабілізації тиску в колекторі пари служить АСР, яка складається з датчика 6-1, вторинного приладу 6-2 з ПП-регулятором 6-3 і регулюючого клапану 6-4.

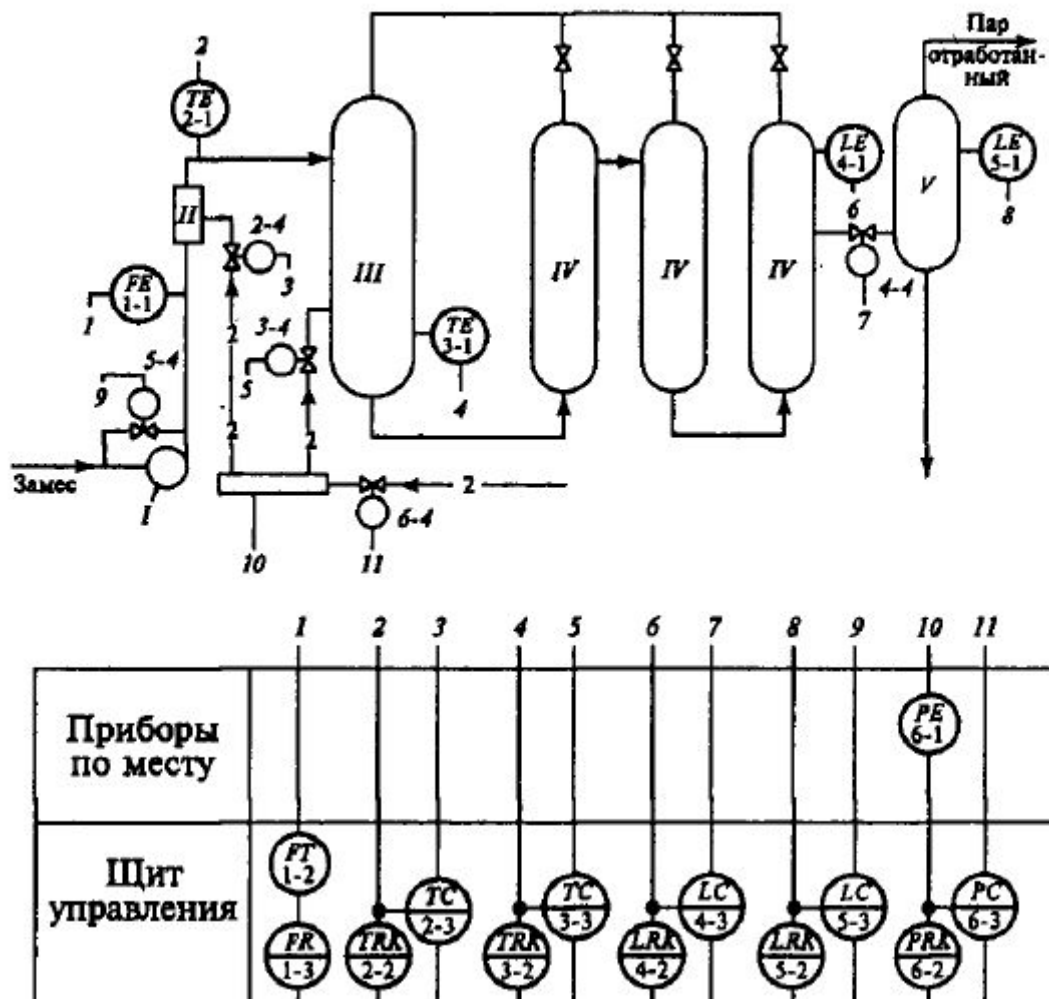


Рис.4.3. Схема системи управління відділенням розварювання.

4.2.11. Автоматизоване управління процесами відділення оцукрювання

У відділенні оцукрювання (рис.4.4) розварена маса охолоджується у вакуум-випарювачі II і поступає в оцукрювач III, куди дозується ферментний розчин із збірника IV. В результаті ферментативного гідролізу крохмал оцукрюється і розварена маса крохмалистої сировини перетворюється в живильне середовище для дріжджегенерації та бродіння – сусло, яке після охолодження в теплообміннику V збирається в збірнику VI.

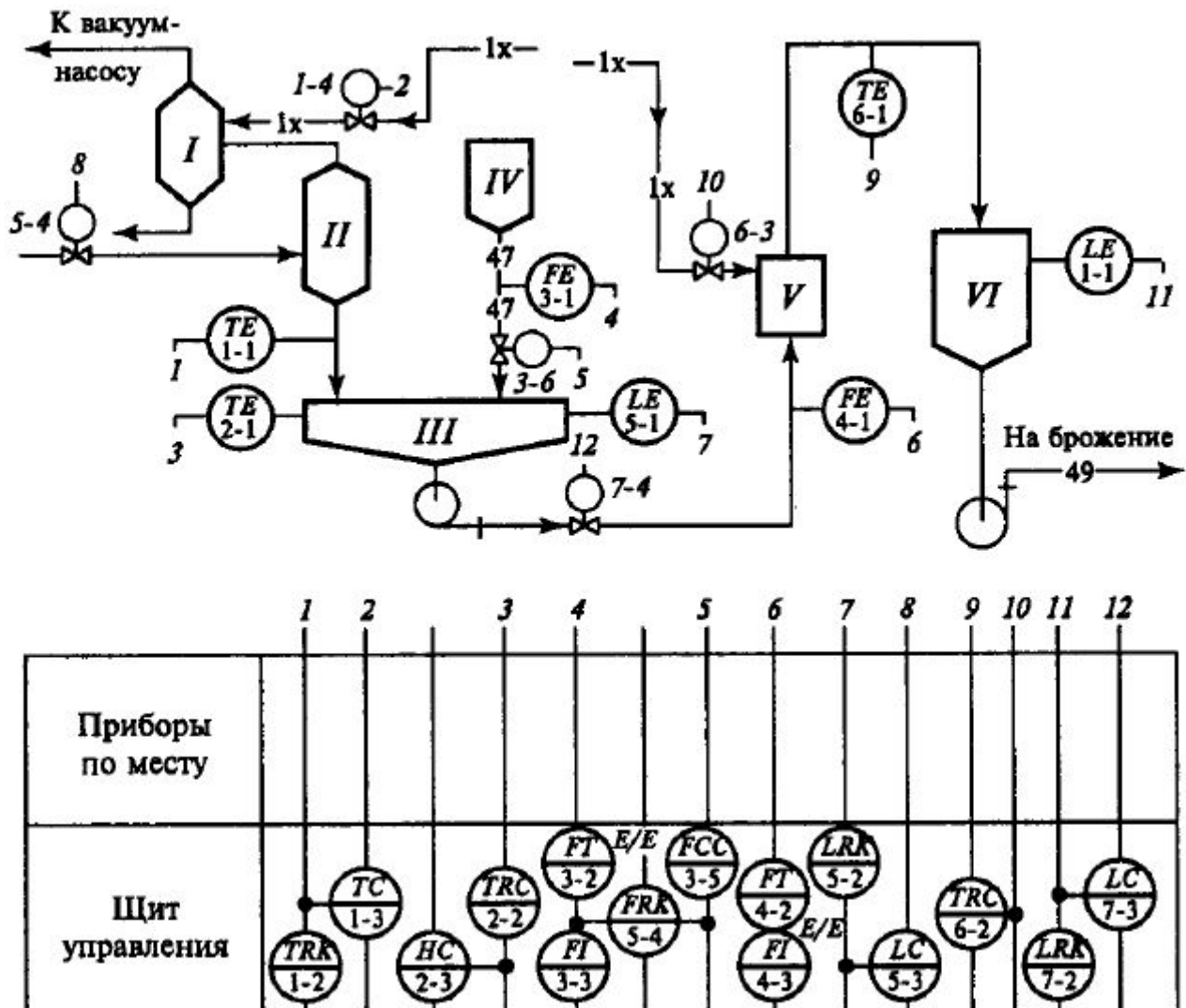


Рис.4.4. Схема системи управління відділенням оцукрювання.

Основними задачами управління в цьому відділенні являються підтримка заданого режиму оцукрювання заданого режиму оцукрювання, яке зводиться до стабілізації температури реакційної маси в оцукрювачі і концентрації в ній ферменту. Для регулювання температури служить 2-контруна (каскадна) АСР: температура маси на виході вакуум-випарювача вимірюється манометричним термометром 1-1, пневматичний сигнал з виходу якого поступає на вторинний прилад 1-2 з регулятором 1-3 і далі на регулюючий клапан 1-4, що змінює витрату води в барометричний конденсатор 1. Температура маси в оцукрювачі вимірюється термоперетворювачем опору 2-1, який підключений до електронного мосту 2-2 з вбудованим пневматичним ПІ-регулятором. Вихідний сигнал цього регулятора подається через панель управління 2-3 в якості завдання на регулятор 1-3. Застосування 2-контурної АСР підвищує якість регулювання температури в оцукрювачі.

Для підтримки концентрації ферменту в реакційній масі служить АСР співвідношення витрат суслу і ферментовмісного розчину. В цю АСР входять індукційні витратоміри 3-1 і 3-2 для ферментовмісного розчину і 4-1 і 4-2 для суслу; електропневмоперетворювачі 3-3 і 4-3; вторинний прилад 3-4 і регулятор

співвідношення 3-5, вихідний сигнал якого поступає на регулюючий клапан 3-6, встановлений на трубопроводі подачі ферментовмісного розчину в оцукрювач.

Температура сусла на виході теплообмінника V стабілізується АСР, яка складається із термоперетворювача опору 6-1, електронного моста з вбудованим ПІ-регулятором 6-2 і регулюючого клапану 6-3, встановленого на трубопроводі подачі холодної води в теплообмінник.

Для регулювання рівня маси в оцукрювачі використовується АСР, датчиком для якої служить буйковий рівнемір 5-1. Його вихідний пневмосигнал поступає на вторинний прилад 5-2 з регулятором 5-3, який діє на регулюючий клапан 5-4, встановлений на трубопроводі подачі розвареної маси у вакуум випарювач. Аналогічна по структурі АСР використовується для підтримки рівня сусла в збірнику VI. В цій системі регулятор діє на клапан 7-4, встановлений на трубопроводі подачі сусла із оцукрювача в теплообмінник.

4.2.12. Автоматизоване управління процесами відділення бродіння

Перед початком процесу в головний ферментатор I (рис.4.5), вводять культуру посівних дріжджів-сахароміцетів, вірощених в посівних ферментаторах IV (на схемі умовно показаний один засівний і три виробничих ферментатора і два головних апарата), і подають потік оцукрюваного сусла. Після заповнення головного ферментатора надлишок культуральної рідини по переливній трубі поступає на другий ферментатор II і т.д., поки не будуть заповнені всі апарати батареї. Із останнього ферментатора III культуральна рідина (бражка) з об'ємною долею спирту – 8-9% подається на відділення брагоректифікації. У посівних ферментаторах IV і перших трьох головних бродильних апаратах мікробіологічні процеси протікають особливо інтенсивно і супроводжуються значним тепловим виділенням, тому вони мають теплообмінник і охолоджуються водою.

Основною задачею автоматизації на стадіях дріжджогенерації і бродіння являється підтримка оптимальної температури в посівних і головних бродильних ферментаторах. Як об'єкти регулювання вони мають велику інерційність і значне запізнювання. Температура в кожному апараті вимірюється термоперетворювачами опору 1-1, 1-2, 1-3, які підключені до багатоточковому регулюючому електронному мосту в комплекті з блоком завдання і блоком реле (1-4 – 1-6) . Вихідні сигнали через електро-пневмоперетворювачі 1-7 управляють подачею охолоджувальної води у відповідні ферментатори через регулюючі клапани 1-8 – 1-10.

При роботі системи переключаючий пристрій моста по чергово підключає до його вимірювальної схеми один із датчиків температури, а до регулятора – один із датчиків, на якому встановлене задане значення температури у відповідному ферментаторі. Якщо температура відрізняється від заданого значення, то позиційний регулятор виробляє електричний сигнал, перетворюючи його в командний пневматичний і відкриває або перекриває подачу охолоджуючої води в теплообмінник даного ферментатора.

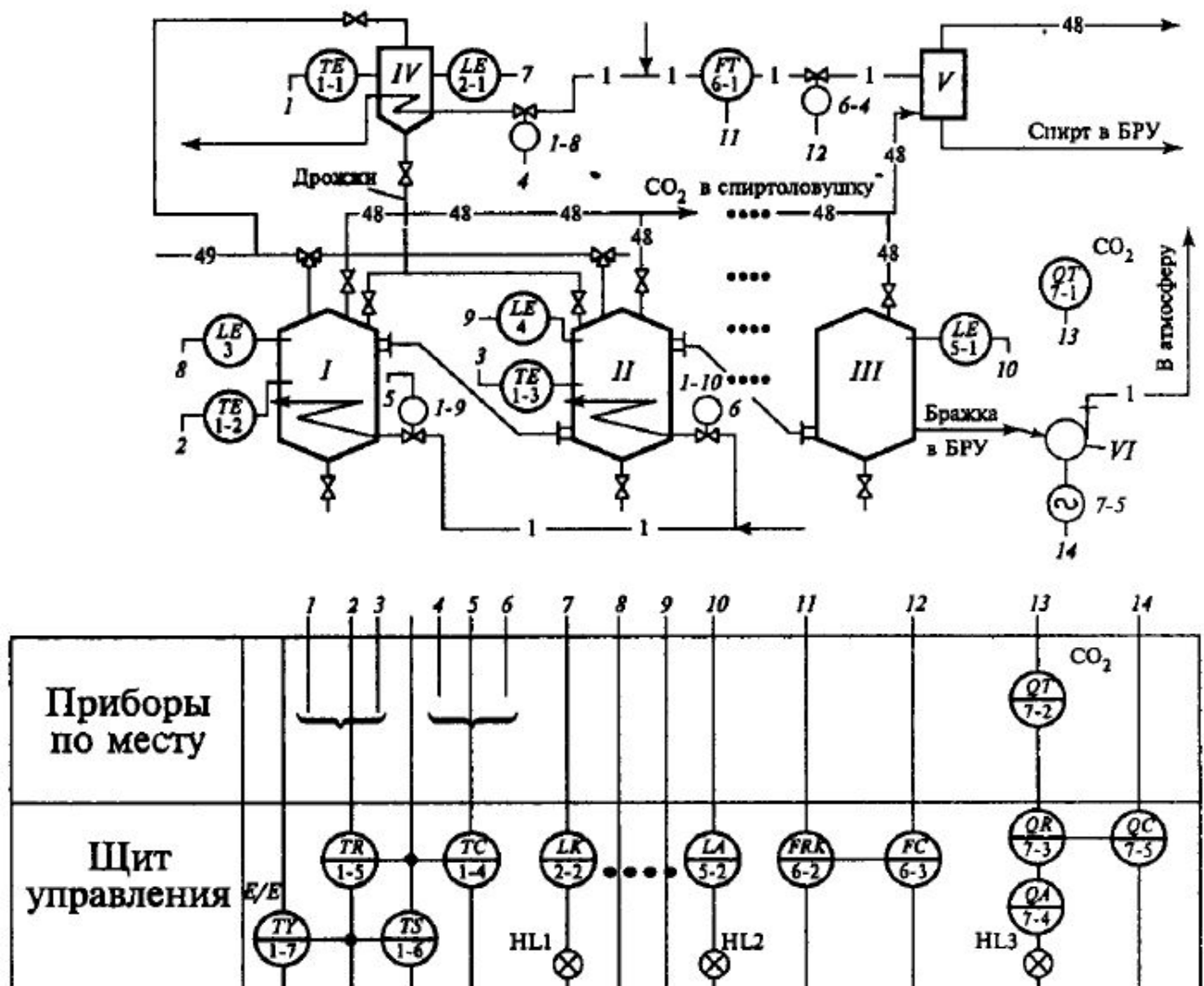


Рис.4.5. Схема системи управління відділенням бродіння.

Для запобігання інфікування культуральної рідини ферментатори періодично стерилізують гострою парою. Під час стерилізації температура в апараті значно перевищує верхній поріг вимірювання мосту 1-4, що погано сказується на його роботі. Для запобігання "зашкалювання" приладу повинна бути передбачена можливість шунтування термоперетворювачів додатковим електричним опором на час стерилізації.

Переливи в ферментаторах запобігають ся електронними сигналізаторами рівня 2-1 – 5-1, включеними в електричні схему світової і звукової сигналізації. В ході бродіння виділяються гази, які в основному вміщують CO_2 , а також пари спирту. Відходячі гази направляються в спиртоловушку V, яка зрошується водою. Пари спирту розчиняються у воді, створена водно-спиртова суміш подається в БРУ, а CO_2 поступає на переробку в цех вуглекислоти.

Схемою автоматизації передбачено регулювання витрати води, яка поступає на спиртоловушку. Витрата вимірюється ротаметром 6-1, пневматичний вихідний сигнал якого подається на вторинний прилад 6-2 з ПІ-регулятором 6-3, управляючим клапаном 6-4 подачі води.

Для забезпечення безпечних умов роботи в бродильному відділенні передбачені автоматичний контроль та регулювання концентрації CO₂ в повітрі виробничого приміщення. Проба повітря неперервно подається через приймач газоаналізатора 7-3, в комплект якого входить також вторинний прилад з регуляторами 7-4, 7-5. Якщо концентрація CO₂ в приміщенні перевищує допустиму, то вмикається електродвигун приводу вентилятору VI, а також світлова і звукова сигналізація (7-4).

Контрольні запитання

1. З яких технологічних стадій складається процес підготовки крохмалевмісних речовин до зброджування?
2. Яка мета подрібнення зерна?
3. Розкажіть про ціль та процес приготування замісу.
4. Розкажіть про ціль та процес розварювання замісу.
5. Розкажіть про ціль та процес оцукрення замісу.
6. Розкажіть про процес приготування виробничих дріжджів.
7. Розкажіть про процес зброджування сусла.
8. Виділіть основні контури автоматизованого управління процесами відділення підробітки зерна і приготування замісу
9. Виділіть основні контури автоматизованого управління процесами ділянкою розварювання
10. Виділіть основні контури автоматизованого управління процесами відділення оцукрювання
11. Виділіть основні контури автоматизованого управління процесами відділення бродіння.

4.3. Теоретичні основи ректифікації

4.3.1. Склад зрілої бражки

Зріла бражка складається з води (82-90% мас.), сухих речовин (4-10% мас.) та етилового спирту із супровідними леткими домішками (5-9% мас, 6-11% об.), невелика кількість CO₂ (1,5 г/дм³). Склад бражки значно змінюється в залежності від виду вихідної сировини і прийнятих технологічних режимів її приготування.

Леткі домішки спирту характеризуються великою різноманітністю, але загальний вміст не перевищує 0,6% від кількості етилового спирту. Їх можна розділити на такі групи: спирти, альдегіди, кислоти та ефіри. Крім того виділяють групу азотистих речовин (аміак, аміни, амінокислоти), сірковмісних речовин (сірководень, сірчистий ангідрид). Більша частина домішок з'являється в процесі бродіння.

Більше всього домішок (0,45% до кількості етилового спирту) припадає на частку спиртів – метилового, пропілового, ізобутилового та ізоамілового. Останні три складають основу сивушного масла. З альдегідів – найбільше оцтового, в мелясній його в 10 разів більше ніж в зерновій.

4.3.2. Теоретичні основи перегонки та ректифікації

Перегонка – розділення суміші летких речовин, що мають різну леткість, на окремі компоненти або фракції шляхом часткового випаровування та наступної конденсації пари. У процесі перегонки пара збагачується летколегкими компонентами (ЛЛК), а залишок (рідина) збагачується важко-леткими компонентами (ВЛК).

Леткість окремих компонентів бінарної суміші характеризують **коефіцієнтом випаровування K** , як відношенням концентрації даної речовини у паровій фазі Y до концентрації у рідкій фазі X при умові, що розглянуті фази бінарної суміші знаходяться у рівноважному стані.

$$K=Y/X \quad (3.3)$$

Залежність рівноважного складу парової фази від складу рідини визначається законом Д.П.Коновалова, який стверджує, що пара яка знаходиться у рівновазі з розчином, завжди містить у надлишку той компонент, додавання якого до розчину знижує температуру кипіння, інакше кажучи, пара збагачується тим компонентом, додавання якого до рідини підвищує загальний тиск пари над нею.

Точка нероздільного кипіння на кривій фазової рівноваги ($Y=X$) називається **азеотропною точкою**.

По кривій фазової рівноваги можна сказати, що при атмосферному тиску пара над рідиною в системі етанол-вода буде збагачуватись етанолом тільки до азеотропної точки (A_1). Отже шляхом ректифікації (багаторазового випаровування і конденсації) при атмосферному тиску можна досягнути максимальної концентрації етанолу – 97,2 % Об. Для отримання етанолу більш високої концентрації, можна зменшити тиск, тоді азеотропна точка зміститься праворуч.

Для оцінки леткості домішок у порівнянні з леткістю етилового спирту введено поняття **коефіцієнт ректифікації домішок** – відношення коефіцієнта випаровування домішки до коефіцієнту випаровування етанолу.

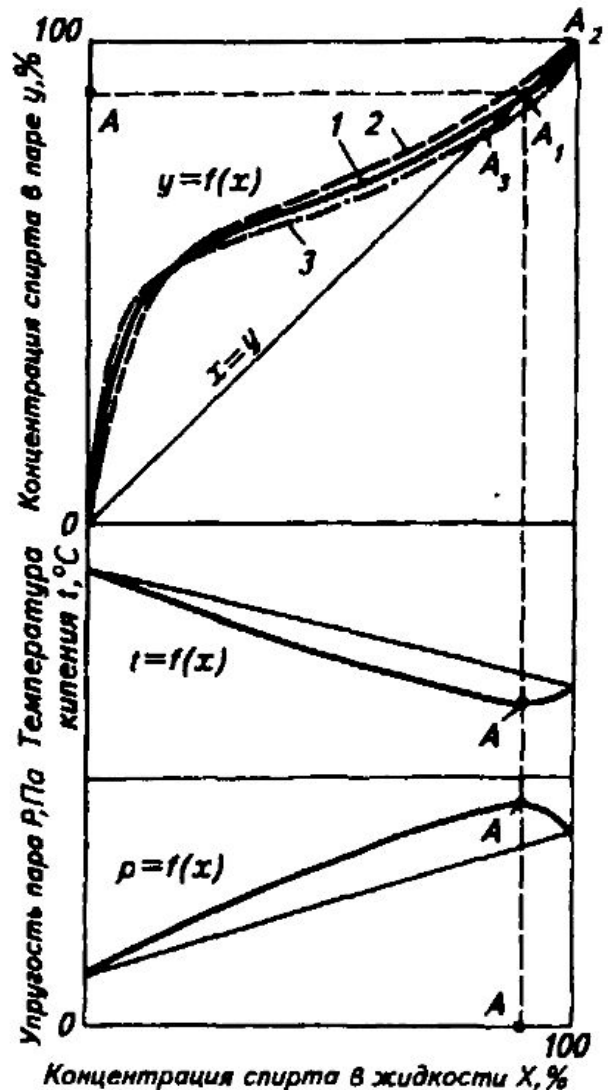


Рис.4.6. Залежність складу пари Y (%), температури кипіння t (°C) та пружності пари P (Па) від складу рідкої бінарної суміші етанол-вода X (%): 1 – при атмосферному тиску; 2 – при тиску нижче атмосферного; 3 – при тиску вище атмосферного

$$K' = \frac{K_{\text{дом}}}{K_{\text{е.с.}}} = \frac{y_{\text{дом}} x_{\text{е.с.}}}{x_{\text{дом}} y_{\text{е.с.}}} \quad (3.4)$$

де: $K_{\text{дом}}$ та $K_{\text{е.с.}}$ – коефіцієнти випаровування відповідно домішки та етилового спирту, $x_{\text{дом}}$ та $x_{\text{е.с.}}$ – концентрації в рідині відповідно домішок та етилового спирту, $y_{\text{дом}}$ та $y_{\text{е.с.}}$ – те саме в паровій фазі.

Коефіцієнт ректифікації показує, на скільки збільшується або зменшується вміст у парі домішки по відношенню до етанолу в порівнянні з рідиною.

Коефіцієнти випаровування та ректифікації домішок залежать від концентрації етанолу у водному розчині, з якого виділяються домішки. У зв'язку з малою кількістю домішок вважають що взаємного впливу немає.

За леткістю домішки групують на: головні, хвостові проміжні та кінцеві.

Головні домішки – завжди мають більшу леткість за етанол ($K' > 1$): оцтовий і масляні альдегіди, ряд ефірів;

Хвостові домішки – завжди мають меншу леткість ($K' < 1$): оцтова кислота, фурфурол.

Проміжні домішки – при високих концентрація етанолу характер хвостових ($K' < 1$), при низьких – головних ($K' > 1$): ізоаміловий, ізобутиловий, пропіловий спирти, ряд ефірів;

Кінцеві домішки – при високих концентрація етанолу характер головних ($K' > 1$), при низьких – хвостових ($K' < 1$): метанол.

Ректифікація – складна багаторазова перегонка, а саме процес розділення летких сумішей на компоненти або групи компонентів (фракції) шляхом багаторазового двобічно масо- і теплообміну між протитечію рухомими паровими та рідинними потоками. Необхідна умова процесу ректифікації – різна леткість (пружність пари) окремих компонентів.

При взаємодії протитечію-рухомих потоків у процесі ректифікації відбувається дифузія легколеткого компонента з рідини в пару та важколеткого компонента з пари в рідину.

4.3.3. Ректифікаційні колони

Ректифікація здійснюється в спеціальних апаратах – **ректифікаційних колонах**. Спосіб контактування потоків у колонах може бути ступінчастим (у тарілчастих колонах) або неперервним (у насадочних та плівкових колонах).

У результаті багаторазового повторюваного на послідовно-розміщених тарілках (ступенях) контактування рідини і пари, що рухаються протитечію по висоті колони, склад взаємодіючих фаз істотно змінюється: паровий потік при прямуванні вгору збагачується ЛЛК, а рідинний, стікаючи вниз, збіднюється ним, тобто збагачується ВЛК.

Ректифікаційні колони можуть бути повними, неповними відгінним або неповними концентраційними. **Повна** – складається з відгінної та концентраційної частини.

З верхньої частини колони відбирають в парі концентрований ЛЛК, конденсація якого дає **дистилят**, а з нижньої частини чистий ВЛК – **кубовий залишок**. Дистилят конденсується в **конденсаторах** колон.

Рідинний потік в колоні називається *флегмою*. Він утворюється в результаті введення рідинного живлення в колону та часткової конденсації пари яка виходить з колони в дефлегматорах. Паровий потік створюється шляхом безпосереднього введення гріючої пари (відкритий обігрів колони), або кип'ятінням кубової рідини через виносний кип'ятильник (закритий обігрів колони).

Живлення в повній колоні подається в середню частину. Задача відгінної частини колони вилучити з парою всі ЛЛК. Задача концентраційної – збільшити концентрацію пари ЛЛК та води ВЛК, шляхом *зрошення*, тобто повернення на верхні тарілки конденсату частини пари, що відходить з колони. Конденсат іншої частини пари виводиться з колони у вигляді дистилату. Відношення кількості гарячого (при температурі кипіння) зрошення тобто флегми (L) до кількості дистилату (D) називається *числом флегми* (R).

$$R=L/D=(G-D)/D, \quad (3.5)$$

де G – кількість пари, що виходить з колони

Число флегми показує, в якому відношенні паровий потік ділиться на флегму та дистилат. Без зрошення колони ($R=0$) процесу ректифікації бути не може. При відсутності відбору дистилату ($R=\infty$) кажуть, що колона працює на себе, і в кінці кінців кубовий залишок буде мати таку саме концентрацію що і живлення колони. Часткова конденсація пари для зрошення проводиться в спеціальних теплообмінниках – *дефлегматорах*.

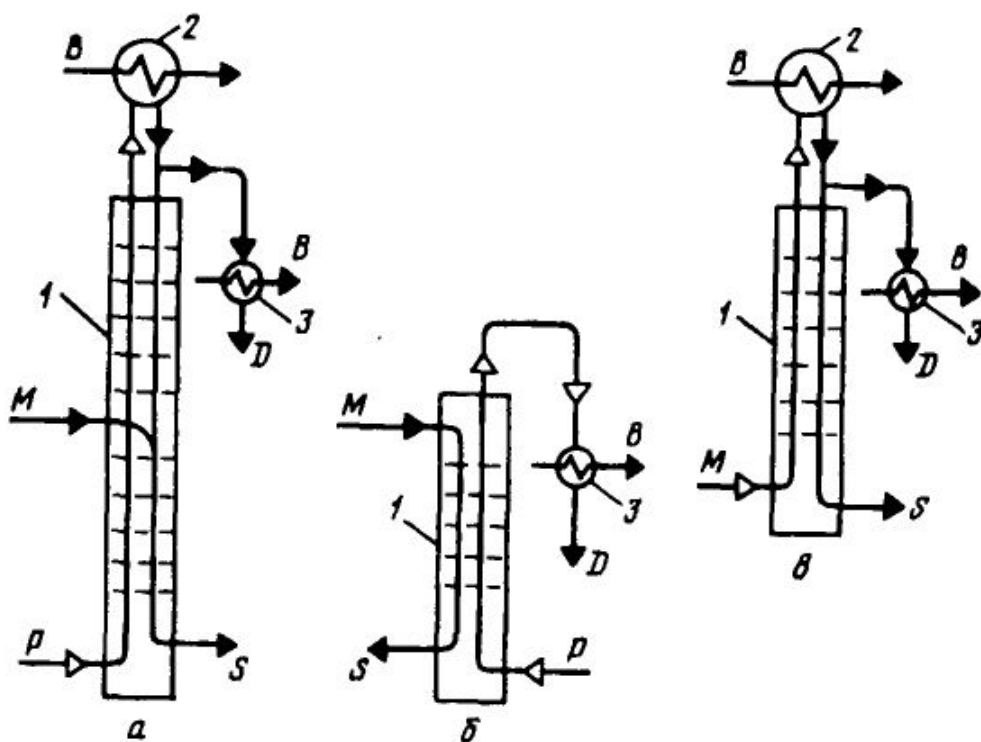


Рис.4.7. Схеми ректифікаційних колон: а – повна; б – неповна відгінна; в - неповна концентраційна; 1 – колона; 2 – дефлегматор; 3 – холодильник дистилату; В – вода; D – дистилат; М – живлення (вихідний продукт); Р – гріючий пар; S – залишок;

Матеріальний баланс по ЛЛК для відгінної частини колони вище довільного перерізу I-I:

$$G \cdot Y_i = L \cdot X_i + D + X_D \quad (3.6)$$

Відповідно залежність між концентраціями зустрічних потоків:

$$Y_i = L/G \cdot X_i + D/G \cdot X_D \quad (3.7)$$

враховуючи, що $D=G-L$, можна записати

$$Y_i = L/G \cdot X_i + (1+L/G) \cdot X_D \quad (3.8)$$

Відношення L/G прийнято називати **числом зрошування**, з нього можна визначати необхідні значення зрошування на одиницю парового потоку в колоні.

Для відгінної частини колони матеріальний баланс по ЛЛК нижчий довільного перерізу II-II при обігріванні закритою парою:

$$G'Y'_i + SX_S = L'X'_i \quad (3.9)$$

звідки

$$Y'_i = L'/G' \cdot X'_i - S/G' \cdot X_S \quad (3.10)$$

Оскільки $S=L'-G'$, тоді

$$Y'_i = L'/G' (X'_i - X_S) + X_S \quad (3.11)$$

При обігріванні колони відкритою парою $S=L'$ рівняння (3.11) зводиться до виду:

$$Y'_i = L'/G' (X'_i - X_S) \quad (3.12)$$

Лінія, що побудована за цими рівняннями в координатах $Y-X$ називається **робочою лінією** відповідно концентраційної та відгінної частини колони. Користуючись кривою фазової рівноваги і робочою лінією, можна графічно визначити число **теоретичних тарілок** (на яких досягається повна рівновага), які необхідні для розділення суміші в заданих межах зміни концентрацій.

На теоретичній тарілці концентрація фаз змінюється від робочого стану на вході до рівноважного (з індексом *) на виході (рис.4.9.а). Паровий потік поступає у контакт при робочій концентрації Y_i , а рідинний – відповідно при X_{i+1} . У результаті масообміну на тарілці концентрація парового потоку збільшується до Y^*_{i+1} , а рідинного відповідно зменшиться до X^*_i .

Припустимо, що концентрація ЛЛК в рідині й парі у перерізі I (рис.4.9) характеризується точкою А на діаграмі $X-Y$ (рис.4.9.б). Внаслідок проходження через теоретичну тарілку пара повинна досягти рівноважного стану Y^*_{i+1} (точка В) з рідиною, що має концентрацію X^*_i . Зміна складу парової та рідинної фази по ЛЛК визначиться за рівнянням матеріального балансу, звідки:

$$G \cdot \Delta Y = L \cdot \Delta X \quad (3.13)$$

$$\Delta X = X_{i+1} - X^*_i = G \cdot (Y^*_{i+1} - Y^*_i) / L \quad (3.14)$$

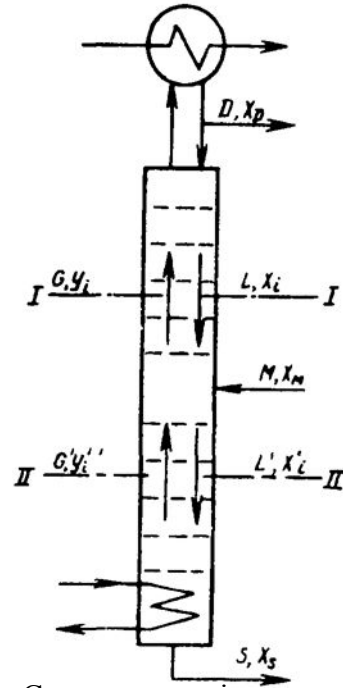


Рис.4.8. Схема матеріальних потоків колони: G і L – паровий і рідинний потоки у довільному перерізі; Y_i , X_i – концентрація ЛЛК відповідно в потоках пари і рідини у i -му перерізі, X_D , X_S , X_M – концентрація ЛЛК відповідно у дистилаті, залишку і вихідному продукті

Відклавши значення AX по осі абсцис, знаходимо розташування на ній X_{i+1} . Перетин перпендикулярів, проведених до відповідних осей з точок X_{i+1} і Y_{i+1}^* , дає точку C , яка характеризує склад рідини у перерізі II.

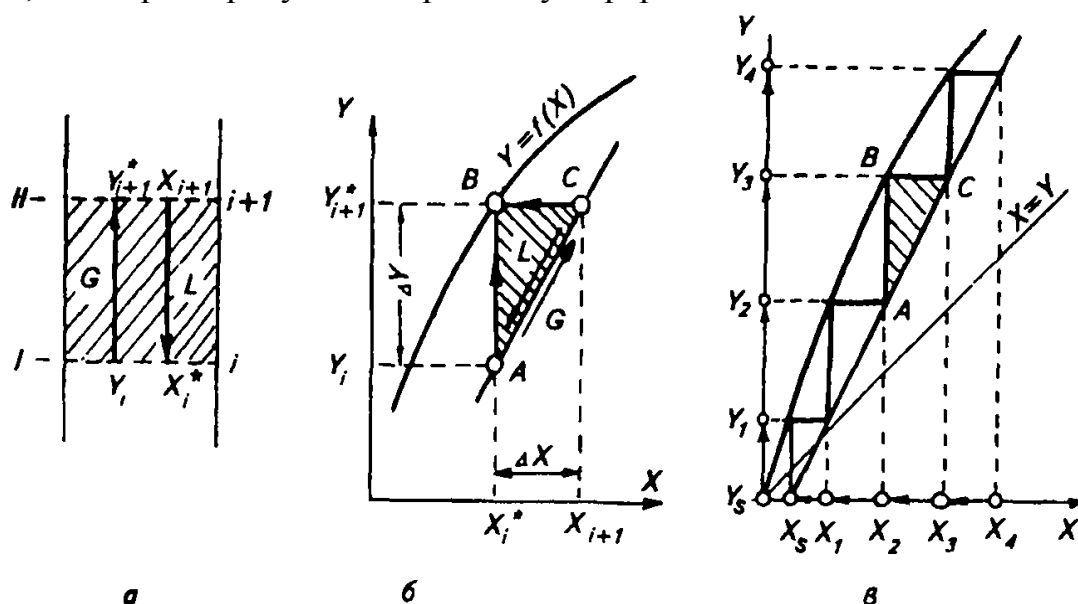


Рис.4.9. Графічне зображення теоретичних тарілок.

Точки A і C характеризують робочі концентрації пари й рідини відповідно у перерізах I та II. З рівняння (3.13) виходить, що $\Delta Y/\Delta X = L/G$, тобто відношення зміни концентрацій обернено-пропорційне відношенню значень потоків. Зробивши аналогічні і послідовні побудови для суміжних тарілок, розташованих вище та нижче розглянутої, легко показати, що пряма, яка проходить через A і C , є робочою лінією процесу ректифікації. Прямокутний трикутник ABC , вершина прямого кута якого лежить на лінії фазової рівноваги, а гіпотенуза – на робочій лінії, характеризує зміну концентрації потоків, яка відбувається в межах однієї теоретичної тарілки.

Якщо необхідно визначити необхідне число теоретичних тарілок в межах заданої зміни концентрації, то на діаграмі X - Y між лінією фазової рівноваги та робочою лінією будується ламана лінія з прямими кутами (рис.4.9.в). Число ступенів, одержаних при побудові цієї ламаної, і буде числом теоретичних тарілок, які необхідні для заданої зміни концентрацій або для заданого розділення суміші.

У одній повній ректифікаційній колоні можна розділити на чисті компоненти тільки бінарну суміш. Для розділення багатокомпонентних сумішей застосовують декілька послідовно-працюючих ректифікаційних колон, кожна з яких розділяє суміш, яка поступає до неї, на дистилат, що складається з одного або кількох легколетких компонентів, і залишок, що складається з важко летких компонентів. На практиці багатокомпонентну суміш розділяють на фракції.

У практиці спиртової промисловості, як правило використовують тарілчасті контактні пристрої, на яких послідовно здійснюється ступінчатий контакт фаз. Тарілки можуть бути ковпачковими, ситчастими, клапанними, лускоподібними та ін.

Роботу тарілок оцінюють за: пропускною здатністю пари і рідини, здатністю розділяти суміш, діапазоном сталої роботи, гідравлічним опором.

Здатність розділяти суміш називають ефективністю тарілки і оцінюють через ККД тарілки, який визначається для всієї колони. Середній **ККД тарілки** колони дорівнює відношенню числа теоретичних тарілок (на яких досягається повна рівновага) необхідних для здійснення заданого розділення суміші до числа реальних.

Стала робота тарілок повинна відповідати таким навантаженням пари й рідини, при яких досягаються найбільш інтенсивний їх контакт і висока ефективність. При великих навантаженнях пари (великих швидкостях пари) може відбуватися великий виніс рідини з тарілки на тарілку; на них може накопичуватись рідина понад можливий рівень. Верхня межа навантаження пари характеризується "захливанням тарілок". Зовнішня ознака захливання – різке підвищення тиску внизу колони і його зниження вверху. При навантаженнях пари, що наближаються до мінімально допустимих, частина флегми перетікає з тарілки на тарілку не вступаючи в контакт з парою. При великих навантаженнях по рідині може теж статися заклинання колони.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить компонентний склад зрілої бражки?
2. Що таке перегонка?
3. Що таке коефіцієнт випаровування?
4. Що таке азеотропна точка?
5. Що таке коефіцієнт ректифікації домішок?
6. На які типи можна поділити домішки за леткістю?
7. Поясніть призначення ректифікаційних колон.
8. Поясніть призначення повної, відгінної і концентраційних колон.
9. Що таке флегма і число флегми?
10. Що таке теоретична тарілка?
11. Як зв'язана теоретична тарілка з реальною.

4.4. Брагоректифікаційні установки спиртових заводів

4.4.1. Типова триколонна БРУ

Для одержання харчового ректифікованого спирту безпосередньо з бражки використовують **брагоректифікаційні установки (БРУ)**. Основним завданням БРУ є максимальне виділення спирту з бражки, звільнення його від супровідних домішок і одержання спирту стандартної концентрації й відповідної якості. При цьому домішки, що відбираються, повинні бути максимально сконцентровані та звільнені від етилового спирту. У цьому випадку втрати спирту з побічними продуктами будуть мінімальними.

БРУ як правило складаються з трьох основних колон (рис.4.10): бражної, епюраційної та спиртової. У залежності від способу включення бражної колони в схему БРУ розрізняють брагоректифікаційні установки **прямої, непрямої** (побічної) і **напівпрямої** (побічно-прямотечійної) дії.

Установки непрямої дії стабільні в роботі, легкі в керуванні і на них одержують спирт високої якості. Установки напівпрямої дії більш складні в експлуатації, але приблизно на 10... 15 % споживають менше гріючої пари й охолоджувальної води. Установки прямої дії (рис. 4.10, а) на українських

заводах практично не використовуються. Надалі будемо розглядати БРУ тільки непрямої дії.

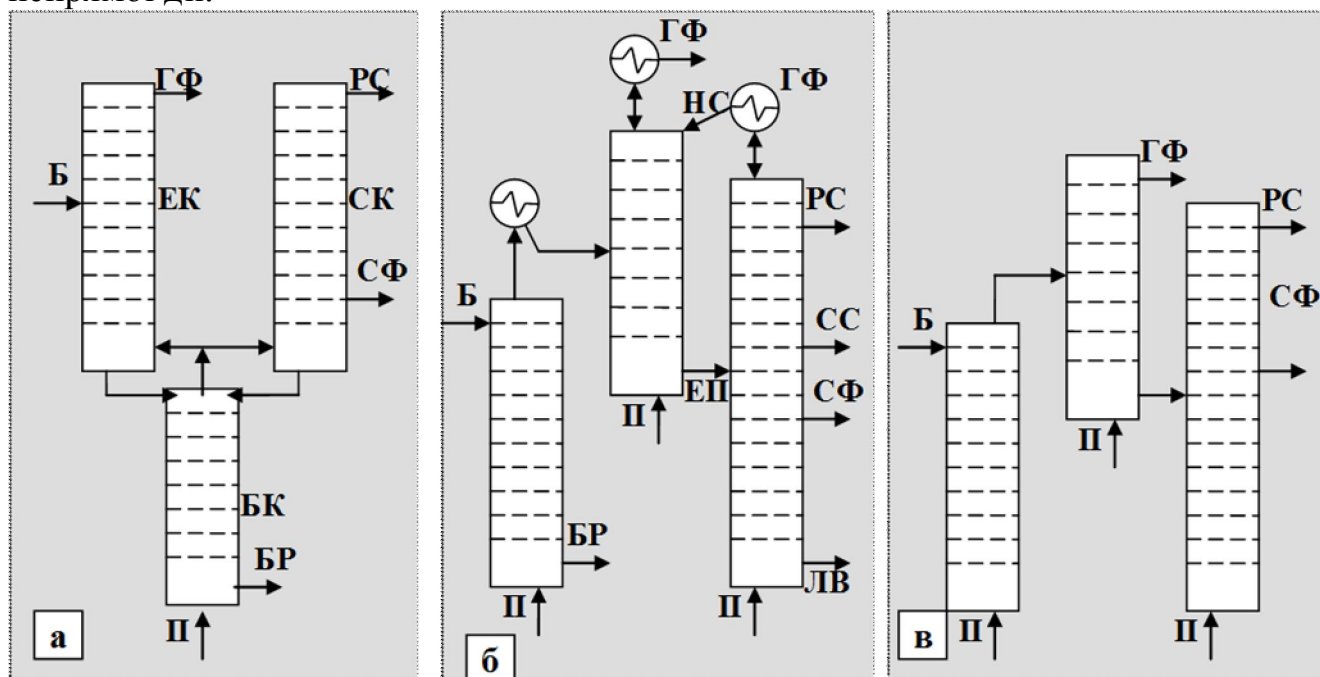


Рис. 4.10. Схема технологічного процесу брагоректифікації в типовій 3-колонній БРУ: а – пряма дія, б – непряма дія, в – напівпряма дія.

Б – бражка; БР – барда; Л – лютерна вода; ГФ – головна фракція, РС – ректифікований спирт; НС – непастеризований спирт; ЕП – епюрат; СФ – сивушна фракція; СС – сивушний спирт; П – пара; БК – бражна колона; ЕК – епюраційна колона; СК – спиртова колона; ЛВ – лютерна вода

Роботу типової триколонної установки можна описати наступним чином. **Бражна колона (БК)** використовується для відокремлення легкої частини бражки від нелеткої. Бражка, звільнена від легкої частини виводиться з нижньої частини колони у вигляді барди. З нею виводяться екстрактивні речовини, завислі частинки та значна частина води і хвостових домішок. Легка частина бражки, що містить етиловий спирт, воду й супровідні легкі домішки попередньо конденсується в конденсаторі БК та у вигляді **бражного дистиляту** надходить на живлення епюраційної колони.

Задача **епюраційної колони (ЕК)** яка є повною колоною, очистити бражний дистилят від головних та частково кінцевих домішок. Для цього бражний дистилят подають в середню частину колони, в нижню частину ЕК або в кип'ятильник вводиться пара, а паровий потік що виходить з верху колони конденсують, і виводять у вигляді **головної фракції (ГФ)**. Головна фракція, яку також називають **ефіро-альдегідною фракцією (ЕАФ)**, повинна містити біля 90% об. етилового спирту та 2-6 % об. легких домішок. Концентрація домішок проводиться у верхній частині ЕК шляхом зрошення при числі флегми близькими до $R=\infty$. Кубовий залишок ЕК (**епюрат**) надходить в спиртову колону. З метою покращення якості епюрації в деяких БРУ передбачають подачу води на верхню тарілку ЕК, такий прийом одержав назву **гідроселекція**.

Задача **спиртової колони (СК)** отримати з епюрату спирт необхідної концентрації, та вивільнити з нього всі домішки, які залишились (хвостові та проміжні). СК є повною колоною, яка обігривається паром через кип'ятильник

або напряду. Епюрат подається в середину колони. Кінцевий продукт – **ректифікований спирт**, який також називається **пастеризованим спиртом**, відбирається рідкою фазою з 3-10 тарілки, рахуючи з верху колони і подається через спиртовимірвальний прилад в спиртосховище. Переважна частина пари через дефлегматор повертається на зрошення колони, інша частина дистилятом (**непастеризований спирт**) повертається у ЕК. З непастеризованим спиртом виводяться головні і кінцеві домішки, які виділені та сконцентровані в пастеризаційній зоні (вище зони відбору пастеризованого спирту). Проміжні домішки виводяться з спиртової колони у вигляді двох продуктів – **сивушної фракції** (5-11 тарілка з низу колони) та **сивушного спирту** (17-25 тарілка з низу колони). З сивушною фракцією переважно виводяться нижні проміжні домішки, з сивушним спиртом – верхні проміжні. Після конденсації, охолодження й екстрагування з сивушної фракції одержують **сивушне масло**, яке є товарним побічним продуктом. Кубовий залишок СК називається **лютерною водою**.

За необхідності до типової триколонної БРУ підключають додаткові колони: сивушну, кінцевої очистки та розгінну. **Розгінна колона** призначена для виділення спирту з головної фракції та сконцентрувати головні домішки. Вона являється повною колоною, в середину якої подається головна фракція, відбір спирту проводиться з кубовим залишком, який повертається на виробництво в БК, а концентрат головних домішок (**КГФ**) виводиться з дистилятом.

Колона кінцевої(остаточної) очистки – призначена для виділення з ректифікованого спирту залишків головних і кінцевих домішок. Вона є повною колоною, і в залежності від якості пастеризованого спирту, її можуть експлуатувати в режимі повторної епюрації (як епюраційна) або повторної ректифікації (як спиртова).

Задача сивушної колони – концентрувати сивушне масло та інші проміжні домішки з сивушної фракції. Типова сивушна колона подібна спиртовій.

4.4.2. Автоматизоване управління процесами відділення БРУ

У якості прикладу розглянемо типову 3-колонну БРУ (рис.4.11). Бражка з бродильного відділення подається в теплообмінник I, де нагрівається парами спирту і води, далі поступає в верхню частину бражної колони VI і по тарілках стікає вниз. Назустріч потоку рідини піднімаються пари води спирту, які утворюються за рахунок теплоти граючої пари, яка подається в кип'ятильник колони.

У результаті тепломасообміну концентрація спирту в потоці пари збільшується, а в рідині – зменшується. Барда відводиться з нижньої частини колони. Пари спирту і супутніх йому сумішей виходять з верхньої частини колони, охолоджуються в теплообміннику I потоком бражки і конденсуються в дефлегматорі II, куди подається охолоджувальна вода.

Очистка спирту-сирцю проводиться в епюраційній колоні VII, куди на перегонку поступає конденсат спирту-сирцю із дефлегматора II. Обігрів колони проводиться парою, яка подається в кип'ятильник. Температурний режим в епюраційній колоні розрахований на розділення спирту, який тут являється високо-кип'ячим компонентом суміші, і лектолетких домішок (ефірів,

альдегідів, метанолу та ін.), які концентруються у верхній частині колони III і виходять з неї у вигляді ЕАФ.

Очищений спирт концентрацією 20-30% (епюрат) виводиться з нижньої частини колони і подається в ректифікаційну колону VIII для кінцевої очистки і концентрування. У цій колоні ЛЛК являється спирт, о основним ВЛК – вода, тому концентрація спирту росте по висоті колони. Обігрів цієї колони, як і двох інших, проводиться глухою парою, яка подається в кип'ятильник.

Спирт-ректифікат концентрацію 96% відбирається з 10-15 тарілок у верхній частині колони і проходить через теплообмінник V, де охолоджується водою. Пари спирту виходять через верхній отвір і після конденсації в дефлегматорі IV повертаються в колону в якості флегми. З нижньої частини колони відбираються сивушні масла, а ще нижче відводиться вода з залишками спирту.

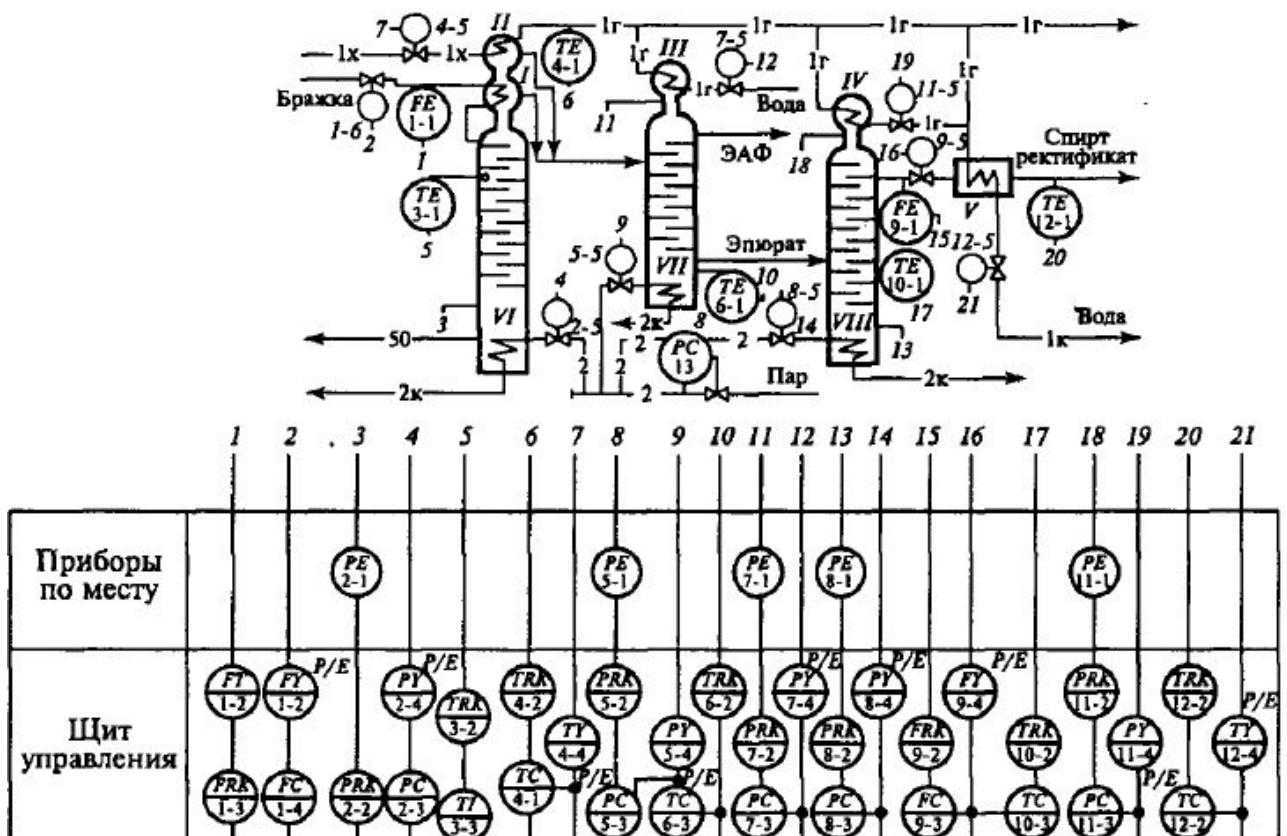


Рис.4.11. Схема системи управління брагоректифікаційним відділенням.

Брагоректифікаційне відділення являється вибухонебезпечним приміщенням, тому в ньому допускається установка тільки приладів і засобів автоматизації у вибухонебезпечному виконанні. В системі автоматизації БРУ використані переважно пневматичні прилади. Навантаження БРУ визначається витратою бражки, для регулювання якої служить система, яка складається з комплексу індукційного витратоміру (1-1, 1-2), електропневмоперетворювача 1-3, вторинного приладу 1-4 з ПІ-регулятором 1-5 і регулюючого клапану 1-6.

Важливим технологічним параметром, що визначає режим роботи будь-якої із колон БРУ, є тиск в її нижній частині, який залежить від витрати граючої пари в кип'ятильник. Для регулювання тиску в схемі автоматизації БРУ використані однотипні системи, які складаються з датчиків тиску 2-1, 5-1, 8-1, вторинних приладів 2-2, 5-2, 8-2 з ПІ-регулятором 8-3 або ПІ-регуляторами 2-3 і 5-3 і

регулюючих клапанів 2-4, 5-4, 8-4 на трубопроводах подачі пари в кип'ятильник відповідної колони.

Основним параметром, що характеризує стан процесу в кожній колоні являється концентрація цільового продукту (спирту) в основному технологічному потоці на виході із апарату. Із-за відсутності серійних датчиків для автоматичного вимірювання цього параметру його безпосереднє регулювання неможливе. Однак при постійному тиску в колоні між концентрацією і температурою кипіння рідини на контрольній тарілці існує однозначна залежність, яку можна використати для непрямого регулювання концентрації.

У бражній колоні температура на контрольній тарілці регулюється двухконтурною (каскадною) АСР. Температура вимірюється манометричним термометром 3-1, пневматичний сигнал з виходу якого подається на вторинний прилад 3-2 з ПІ-регулятором 3-3. Сигнал цього регулятора поступає в якості завдання на регулятор 2-3 тиску нижньої частини колони. При роботі системи, якщо по якимось причинам концентрація у верхній частині колони змінюється, наприклад зменшується, температура на контрольній тарілці знижується, ставши менше заданої. Регулятор 3-3 збільшить задане значення тиску для регулятора 2-3, яке стане більше плинного значення тиску в нижній частині колони. У результаті збільшиться витрата пари в кип'ятильник і інтенсифікуються процес кипіння, а також всі теплообмінні процеси в колоні, що з часом приведе до відновлення потрібного режиму її роботи.

Аналогічно по структурі АСР (6-1, 6-2, 6-3) застосовується для стабілізації технологічного режиму в епіюраційній колоні. Відмінність заключається в тому, що в даній АСР регулюється температура в нижній частині колони, звідки відбирається цільовий продукт – епіюрат.

Особливо високі вимоги пред'являються до якості регулювання концентрації спирту, що відбирається із ректифікаційної колони, поскільки він являється кінцевим продуктом виробництва. Для цього служить 2-х контурна (каскадна) АСР, яка регулює витрату спирту-ректифікату з корекцією по температурі на контрольній тарілці. Датчиком витрати являється ротаметр 9-1, пневматичний вихідний сигнал якого подається на вторинний прилад 9-2 з ПІ-регулятором 9-3 а далі на регулюючий клапан 9-4.

Температура на контрольній тарілці вимірюється манометричним термометром 10-1, пневмосигнал з якого поступає на автоматичний прилад 10-2 з ПІ-регулятором 10-3. Сигнал з виходу цього регулятора подається в якості завдання на регулятор 9-4.

Схемою автоматизації БРУ передбачено регулювання витрат охолоджуючої води, яка подається в дефлегматор усіх колон. При цьому витрата води в дефлегматор бражної колони забезпечує стабілізацію температури підходящої нагрітої води (4-1 – 4-4). У епіюраційній і ректифікаційній колонах застосовані однотипні системи регулювання тиску у верхній частині колони, які складаються з датчиків 7-1 і 11-1, вторинних приладів 7-2 і 11-2 з ПІ-регуляторами 7-3 і 11-3 і клапанами 7-4 і 11-4, регулюючими подачу охолоджувальної води в дефлегматор відповідної колони.

Поряд зі стабілізацією основних технологічних параметрів, АСУТП БРУ забезпечує регулювання тиску пари в колекторі за допомогою регулятора 13 прямої дії "після себе", а також температури спирту-ректифікату після теплообмінника V (12-1 – 12-4). Вимірювання і облік об'єму спирту, що отримується з БРУ, а також вмісту в ньому чистого алкоголю проводиться за допомогою спеціального пристрою, який називається контрольним снарядом.

Контрольні запитання

1. Назвіть схеми БРУ в залежності від способу включення колон в установку?
2. Розкажіть про призначення бражної колони.
3. Розкажіть про призначення епюраційної колони.
4. Розкажіть про призначення спиртової колони.
5. Які можна виділити основні контури автоматизованого управління процесами відділення БРУ?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

Базова

1. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. пособ. -М.:Высшая школа, 2005.-768с.
2. Курочкин А.А. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств. Учеб. пособ. / А.а. Курочкин, Г.В.Шабурова, А.С.Гордеев, А.И.Завражнов. - М.:КолосС, 2007. - 591 с.

Допоміжна

3. Грек О.В., Поліщук Г.Є., Онопрійчук О.О. Технологія продуктів зі знежиреного молока, молочної сироватки і маслянки: Навч. посіб.-. К.: НУХТ, 2011. – 210 с.
4. Скоротченко Т.А., Поліщук Г.Є., Грек О.В., Кочубей О.В. Технологія незбираномолочних продуктів. Навч. посіб.- Вінниця: Нова книга, 2005. - 264 с.
5. Маринченко В.О. Технологія спирту. Навч. посіб. / В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. – Вінниця: "Поділля-2000", 2003. – 496 с.
6. Яровенко В.Л. Технология спирта. Учеб. пособ. /В.Л. Яровенко, В.А.Маринченко, В.А.Смирнов и др.; Под .ред. проф. В.Л. Яровенко, М. Колос, "Колос-Пресс", - 2002 – 464.с.
7. Грек О.В., Поліщук Г.Є., Онопрійчук О.О. Технологія продуктів зі знежиреного молока, молочної сироватки і маслянки: Навч. посіб.-. К.: НУХТ, 2011. – 210 с.
8. Скоротченко Т.А., Поліщук Г.Є., Грек О.В., Кочубей О.В. Технологія незбираномолочних продуктів. Навч. посіб.- Вінниця: Нова книга, 2005. - 264 с.

9. Крусъ Г.Н и др. Технология молока и молочных продуктов. Учеб. пособ. / Г.Н.Крусъ, А.Г.Храмцов, З.В. Волокита, С.В. Карпонов. Под ред. А.М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2008.- 455 с .
- 10.Бредыхин С.А., Космодемьянский Ю.З., Юрин В.Н. Технология и техника переработки молока. Учеб. пособ. – М.: Колос, 2003. – 400 с.
- 11.Степанова Л.И. Справочник технолога молочного производства.
- 12.Технология и рецептуры. Т.2. Масло коровье и комбинированное – СПб.:ГИОРД , 2002. – 336 с.