

О.І. Черевко, Л.В. Кіптела,
В.М. Михайлов, О.Є. Загорулько

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Підручник



Професвіта

**О.І. Черевко, Л.В. Кіптела,
В.М. Михайлов, О.Є. Загорулько**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Підручник

*Харків
ХДУХП
2014*

УДК 65.011.56:664

ББК 36.81

А 18

Автори:

О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько

Рецензенти:

Жученко А.І., д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри «Автоматизація хімічних виробництв», Національний технічний університет України «КПІ»;

Подустов М.О., д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу Національного технічного університету «ХПІ»;

Савченко П.І., д-р техн. наук, проф. завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі, протокол № 4 від 28.11.2014 р.

Автоматизація виробничих процесів : підручник / О. І. Черевко, А 18 Л. В. Кіптела, В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько ; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2014. – 186 с.
ISBN 978-966-405-355-3

Викладено методи автоматичного вимірювання технологічних параметрів харчових виробництв. Розглянуто елементи теорії й техніки автоматичного регулювання виробничих процесів. Наведено основи проектування систем автоматизації, приклади систем автоматизації типових технологічних процесів харчових виробництв. Розглянуто схеми автоматизації торгово-технологічного обладнання галузі.

Підручник розраховано на студентів інженерно-механічних й інженерно-технологічних спеціальностей ВНЗ харчової промисловості й підприємств харчування з напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» та наступних спеціальностей: 7.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв»; 7.091711 «Технологія продуктів харчування»; 7.091702 «Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчо концентратів»; 7.0517070104 «Технологія зберігання, консервування та переробки м'яса», а також спеціалістів, які займаються розробкою та експлуатацією технологічного обладнання харчових виробництв.

УДК 65.011.56:664

ББК 36.81

© Черевко О. І., Кіптела Л. В.,

Михайлов В. М., Загорулько О. Є., 2014

© Харківський державний університет

харчування та торгівлі, 2014

ISBN 978-966-405-355-3

Частина I. Загальні відомості про автоматику та автоматизацію технологічних процесів

Розділ 1. Основні поняття та визначення з автоматики та автоматизації

1.1. Поняття про автоматичне управління

Автоматика – це наука, що вивчає принципи побудови систем управління виробничими процесами без прямої участі людини. *Автоматизацією* називають комплекс технічних засобів, що замінюють працю людини в управлінні виробничими процесами.

Управління процесом полягає в здійсненні певних дій відносно нього, які забезпечують потрібний або оптимальний режим роботи. Під час управління процесом слід вирішувати такі завдання: одержання інформації про стан процесу, прийняття рішень про необхідний вплив на процес на основі обробки та аналізу інформації, а безпосередній вплив на об'єкт управління. В автоматичному управлінні ці функції виконують технічні засоби автоматизації.

Залежно від міри участі людини в управлінні розрізняють такі системи:

- ручного управління, у яких функції переробки інформації та безпосереднього управління виконує людина;
- автоматизовані, у яких разом із технічними засобами в управлінні бере участь людина;
- автоматичні, у яких процес управління відбувається без участі людини.

Будь-яка система управління складається з *об'єкта управління* (ОУ) та *управляючого пристрою* (УП). Об'єктом управління називають процес, що відбувається в машині, апараті, на виробничій дільниці, або виробництві в загалом. Для управління процесом застосовується управляючий пристрій, який спрямовує управляючі дії на об'єкт згідно з *алгоритмом управління*, що являє собою сукупність певних правил, залежностей, які визначають характер вплив на об'єкт для правильного перебігу процесу.

1.2. Значення автоматизації для підвищення ефективності технологічних процесів харчових виробництв

Автоматизація являє собою один із найважливіших засобів здійснення переходу до якісно нового виробництва за рахунок підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, оптимізації процесів, зниження собівартості продукції, забезпечення безпеки роботи обладнання, поліпшення умов та культури виробництва.

Технологічні процеси харчових галузей 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 району вирощування, погодних умов, терміну й умов транспортування та зберігання;
- суворе дотримання рецептур приготування харчових 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, що забезпечується сучасними машинами й апаратами;
- застосування складних фізико-хімічних та біохімічних методів переробки харчових продуктів.

Усі ці особливості визначають ефективність застосування автоматизації технологічних процесів харчових виробництв на підприємствах усіх рівнів.

Розділ 2. Системи управління технологічними процесами

Системи управління можна умовно поділити на малі та великі. Малі системи управляють процесом в апараті, машині (наприклад, регулювання температури в тепловій шафі або тиску в котлі). Такі системи іноді називають *локальними системами автоматизації* (ЛСА). Свої функції вони виконують автоматично, тобто без втручання людини в процес управління.

Великі системи являють собою сукупність малих систем, а об'єднаних загальним призначенням та метою. Такі системи застосовуються для управління технологічним процесом у відділеннях, цехах або на підприємстві загалом. Ці комплекси мають назву *автоматизовані системи управління технологічними процесами* (АСУ ТП). Для обробки інформації від об'єкта та вироблення рішень з управління АСУ ТП застосовують управляючі електронно-обчислювальні машини (ЕОМ). В АСУ ТП в управлінні може брати участь і людина.

2.1. Локальні системи автоматизації

До локальних систем автоматизації належать автоматичні системи контролю, сигналізації, блокування, захисту обладнання від аварій, регулювання та програмного управління.

Автоматична система контролю (АСК) здійснює контроль будь-якого параметра технологічного процесу за допомогою вимірювального пристрою, який перетворює величину, що контролюється, на сигнал, зручний для вимірювання або запису. Система контролю може доповнюватись автоматичною сигналізацією, що подає оптичний або звуковий сигнал, коли параметр досягає граничного значення.

Пристрої захисту обладнання від аварій здійснюють необхідні перемикання в схемі автоматизації для захисту устаткування або персоналу, якщо певні параметри досягають гранично допустимих значень.

Пристрої автоматичного блокування подають сигнали на заборону (блокування) операцій, що можуть призвести до аварійної ситуації.

Автоматична система управління (розімкнена) призначається для виконання операцій, що задаються спеціальними задатчиками на вході цієї системи. Задавач подає управляючий сигнал на виконавчий механізм, що спрямовує його управляючу дію на об'єкт управління. Якщо необхідно здійснювати програмне управління, то застосовується програмний задавач, що послідовно змінює управляючий сигнал. У розімкнених системах управління результат управління не контролюється.

Найбільш поширеними серед локальних автоматичних систем є *автоматичні системи регулювання (АСР)*, а призначені для підтримування на заданому рівні регульованої змінної, що характеризує стан об'єкта регулювання.

2.2. Автоматизовані системи управління технологічними процесами

Покращення виробничих показників, скорочення витрат сировини та підвищення якості готової продукції на підприємствах харчових виробництв можливе з розширенням та ускладненням завдань управління промисловими об'єктами, що значною мірою можна вирішити за рахунок застосування автоматизованих систем управління (АСУ). Ефективність застосування АСУ на підприємствах харчових виробництв визначається їх специфікою: наявність системи складних та зв'язаних між собою об'єктів, переважання безперервних технологічних процесів, необхідність суворого дотримання рецептур та параметрів процесів, упровадження складних біохімічних методів обробки продуктів.

АСУ – це система, яка забезпечує збирання, переробку, аналіз, зберігання та використання інформації за допомогою математичних методів, які дозволяють здійснювати оптимальне управління. Оптимальним називають таке управління, за якого досягається максимальне або мінімальне значення критерію управління з обов'язковим дотриманням інших показників, що називають обмеженням.

Управління простими об'єктами може проводитись автоматично, але в більшості випадків виконується автоматизовано, тобто за участю людини. Для збирання та обробки великої кількості інформації від об'єкта, розробки рекомендацій з управління в АСУ застосовують управляючі ЕОМ, однак відповідальність за рішення щодо управління в автоматизованому режимі лежить на людині.

Для АСУ ТП сукупність обладнання та реалізований на ньому технологічний процес має назву технологічного об'єкта управління (ТОУ).

Призначення АСУ ТП полягає в оптимальному проведенні процесу та забезпеченні суміжних та вищих систем інформацією.

Під час створення АСУ ТП мають бути визначені мета функціонування системи та критерій управління. *Критерій управління* – це показник, який характеризує якість перебігу процесу та набуває різних значень залежно від управляючої дії на об'єкт. Це можуть бути технологічні або техніко-економічні показники: якість продукції, втрати сировини, продуктивність обладнання, прибуток, собівартість продукції та ін. Наприклад, система управління повинна так змінювати управляючі дії, щоб зробити мінімальною собівартість продукції (критерій) за її кількості, не меншої від планової, та заданих показників якості (обмеження).

Вищим рівнем у ієрархії АСУ є автоматизована система управління підприємством (АСУП) та галузеві (ГАСУ). АСУП, на відміну від АСУ ТП, вирішує переважно економічні завдання підприємства – планування, фінанси, зв'язок виробництва з забезпеченням і збутом та ін. Між цими системами існують відносини ієрархічної підлеглості. Взаємодіючі системи різних рівнів обмінюються інформацією (рис. 2.1).

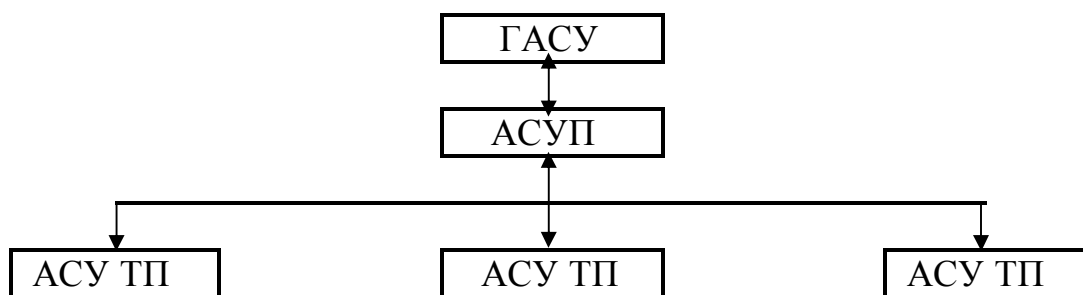


Рисунок 2.1 – Ієрархія АСУ в галузі

Критерієм управління АСУП найчастіше є прибуток підприємства за плановий період. АСУ ТП отримує від АСУП планову інформацію, що про завдання та обмеження (обсяг продукції, обмеження відносно ресурсів, задані значення техніко-економічних показників тощо) і передає на вищий рівень звітну інформацію, що характеризує перебіг технологічного процесу та виконання планових завдань.

2.3. Сучасні системи управління виробництвом

Сучасні інформаційні технології й технології управління визначають два основних завдання:

- 1) підвищення ефективності виробництва за рахунок поліпшення процесу збирання, обробки інформації та її використання для цілей управління;
- 2) забезпечення простоти рішення попереднього завдання, тобто реалізація дружнього людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ).

2.3.1 Структура сучасної АСУТП:

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами, що має 2 - 3 рівні й виконує наступні функції:

- збирання інформації;
 - підтримування заданих значень на технологічних параметрах;
 - контроль за технологічними параметрами, для яких не виконуються функції регулювання;
 - сигналізація;
 - блокування управлінь, які є результатом помилкових дій технологічного персоналу;
 - протиаварійний захист (ПАЗ) у разі виникнення аварійних ситуацій.
- Спрощено структуру АСУТП можна подати в такому вигляді (рис. 2.2).

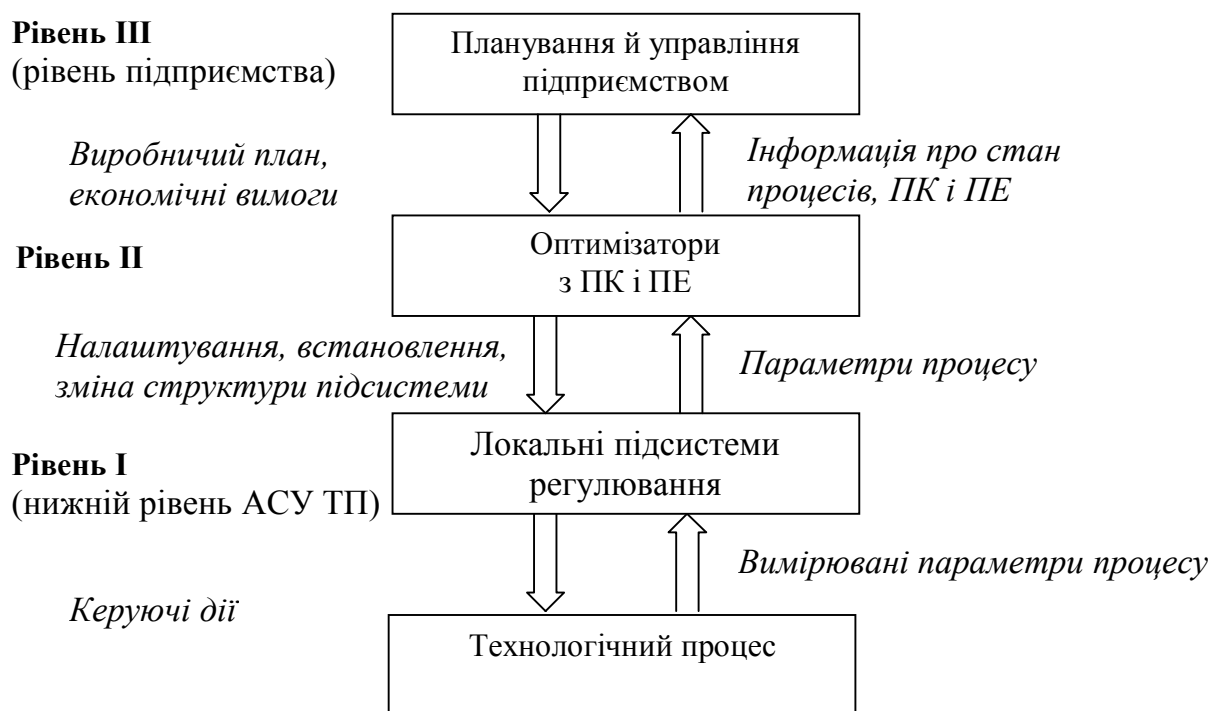


Рисунок 2.2 – Структура інформаційних потоків АСУ ТП

Перший (нижній) рівень АСУ ТП є рівнем датчиків, виконавчих механізмів і контролерів, які встановлюються безпосередньо на технологічних об'єктах. Їх функції полягають у визначенні параметрів процесу, наданні їм відповідного вигляду для подальшої передачі на вищий ступінь (функції датчиків), а також в прийомі керуючих сигналів і виконанні відповідних дій (функції виконавчих механізмів).

Завданнями цього рівня є такі:

- збирання інформації про вимірювані технологічні параметри процесу;
- вироблення управляючих дій на технологічний процес для підтримування заданих значень технологічних параметрів або зміни їх за певними законами;
- сигналізація про вихід їх за задані межі;

- блокування помилкових дій персоналу й управляючих пристроїв;
- протиаварійний захист (ПАЗ) процесу за фактом аварійних подій.

Підсистеми цього рівня підтримують задані значення параметрів технологічного процесу і можуть бути реалізовані з використанням традиційних методів регулювання динамічних об'єктів.

Другий (середній) рівень – рівень виробничої ділянки (цеху). Його функції:

- збирання інформації, що надходить із нижнього рівня, її обробка та зберігання;
- вироблення управляючих сигналів на основі аналізу інформації;
- передача інформації про виробничу ділянку на вищий рівень;
- обчислення невимірюваних параметрів, зокрема показників якості (ПЯ) продуктів, техніко-економічних показників;
- зведення матеріальних балансів;
- архівування інформації;
- генерування звітів;
- діагностика та захист від збоїв в елементах підсистем нижнього рівня;
- визначення налаштувань управляючих пристроїв (УП) і уставок локальних регуляторів підсистем I рівня;
- зміна структури локальних підсистем (переконфігурація, вмикання/вимикання, перехід на ручне управління та ін.).

На цьому рівні проводиться оптимізація технологічних процесів за технологічними показниками.

Третій (верхній) рівень у системі автоматизації займає рівень управління, що й належить до системи управління підприємством (АСУП). На цьому рівні здійснюється контроль за виробництвом продукції й оптимізація за техніко-економічними й економічними показниками. Цей процес включає збір даних, що надходять із виробничих ділянок, їх накопичення, обробку і видачу управляючих директив нижнім рівнем. Завдання управління цього рівня:

- оптимізація економічних показників виробництва;
- управління за економічними і техніко-економічними показниками;
- зведення матеріальних балансів;
- архівування інформації;
- складання виробничих планів та ін.

Слід зазначити, що деякі завдання другого і третього рівнів перекриваються і в деяких випадках ці два рівні об'єднуються в один. Атрибутом цього рівня є центр управління виробництвом, який може складатися з трьох взаємопроникаючих частин:

- 1) операторської частини,
- 2) системи підготовки звітів,
- 3) системи аналізу тенденцій.

Операторська частина відповідає за зв'язок між оператором і процесом на рівні управління. Вона видає інформацію про процес і дозволяє в разі

потреби втручання в перебіг автоматичного управління, забезпечує діалог між системою та операторами.

Система підготовки звітів виводить на екрани, принтери, в архіви тощо інформацію про технологічні параметри із зазначенням точного часу вимірювання, видає дані про матеріальний і енергетичний баланс та ін.

Система аналізу тенденцій дає операторові можливість спостерігати за технологічними параметрами і робити відповідні висновки.

На верхньому рівні АСУ ТП (рис. 2.3) розміщено потужні комп'ютери, що виконують функції серверів баз даних і робочих станцій та забезпечують аналіз і зберігання всієї інформації, що надійшла, за будь-який заданий інтервал часу, а також візуалізацію інформації та взаємодію з оператором. Основою програмного забезпечення верхнього рівня є пакети SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – системи управління і доступу до даних).

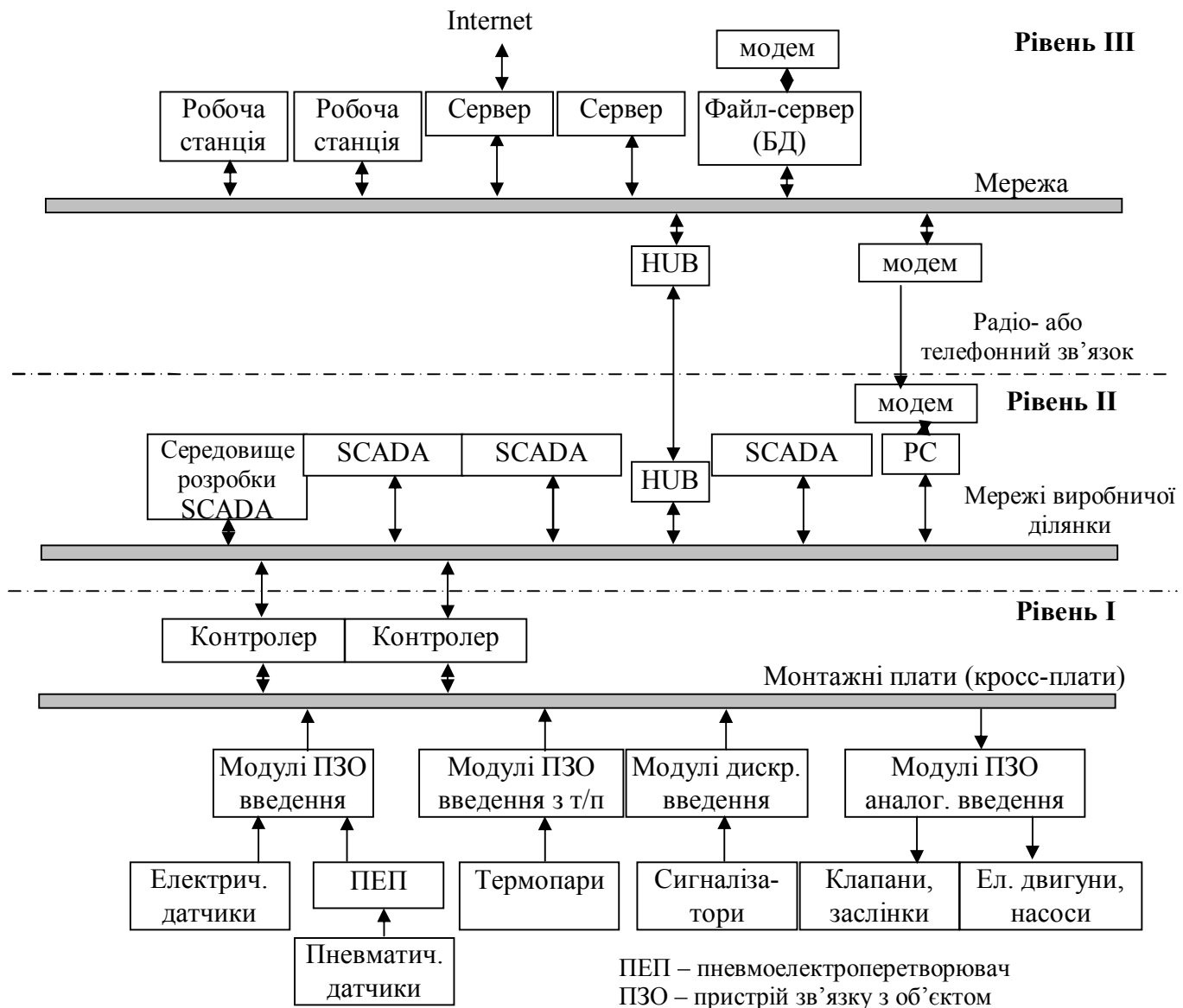


Рисунок 1.3 – Розгорнена структура сучасної АСУ ТП

2.4. Державна система приладів та засобів автоматизації

Для вимірювання фізичних сигналів, які надходять із виходу різноманітних первинних перетворювачів, потрібна значна кількість різних контрольно-вимірювальних та регулювальних пристроїв, що ускладнює їх експлуатацію та ремонт. Для уникнення цих проблем у нашій країні розробляється Державна система приладів та засобів автоматизації (ДСП).

Побудова ДСП базується на принципах уніфікації сигналів, конструкцій, блоків та модулів; можливості побудови складних систем із простих; обмеження номенклатури технічних засобів з одночасним розширенням їх можливостей; формування гнучких перебудовуючих компонентів системи.

Залежно від виду енергії, яку використовують для живлення пристроїв та передавання сигналу, у ДСП розрізняють електричну, пневматичну, гідравлічну та без використання допоміжної енергії гілки, табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Гілки державної системи приладів та засобів автоматизації

Функція приладу	Гілки ДСП			
	Електричні	Пневматичні	Гідравлічні	Пристрої, які не використовують допоміжну енергію
Засоби отримання інформації про стан ОУ	Датчики й первинні перетворювачі	Датчики й первинні перетворювачі	—	Регулятори прямої дії
Засоби контролю	Показувальні та реєструвальні прилади	Показувальні та реєструвальні прилади	—	
Засоби обробки, зберігання інформації, формування команд управління	Регулятори й засоби керувальної обчислювальної техніки	Регулятори і засоби керувальної обчислювальної техніки	—	
Засоби впливу на ОУ	Виконавчі механізми і регулювальні органи			
Діапазон сигналів	Постійний струм (I) 0...5 мА, 0...20 мА, 0...100 мА, U: 0...10 мВ, 0...10 В	20...100 кПа	1...6,4 МПа	-
Примітка. ОУ – орган управління				

У харчовій промисловості використовують електричні та пневматичні засоби автоматизації. З електричних сигналів найчастіше використовують уніфіковані сигнали постійного струму та напруги (0...5 мА, 0...20 мА, 0...10 мВ, -10...0+10 В та ін.). Пневматичні системи зв'язку (0,02...0,1 МПа) використовують у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях для автоматизації інерційних об'єктів.

За функціональною ознакою технічні засоби ДСП поділяються на такі групи: засоби для отримання інформації про стан об'єкта управління (датчики та первинні перетворювачі); засоби контролю (показувальні та реєструвальні прилади); засоби обробки інформації та формування команд управління (регулятори та засоби обчислювальної управляючої техніки); засоби впливу на об'єкт управління (виконавчі механізми та регулювальні органи).

Подальшим розвитком системи ДСП є агрегатні комплекси (АК), які створюються на основі технічних засобів, що входять в окремі функціональні групи ДСП і використовуються для самостійного застосування.

Контрольні запитання до частини I

1. Дайте визначення терміна «управління процесом».
2. Охарактеризуйте основні завдання управління.
3. Назвіть основні особливості автоматизації технологічних процесів харчових виробництв.
4. Дайте визначення таких основних термінів: автоматизація виробництва, автоматичні та автоматизовані системи, алгоритм управління автоматизації, автоматизовані системи управління, критерій управління.
5. Яке призначення Державної системи приладів і засобів автоматизації?
6. На які гілки поділяються пристрої, що входять до складу ДСП?

Частина II. Технічні засоби автоматизації

Розділ 3. Характеристики вимірювальних приладів

3.1. Методи вимірювання

Кожен технологічний процес характеризується різними фізичними величинами – температурою, тиском, рівнем, витратою та ін. Для того щоб мати інформацію про перебіг процесу, слід вимірювати необхідні величини. Вимірювання – процес порівняння вимірюваної величини з певним її значенням, яке беруть за одиницю. Вимірювання можуть бути прямими, непрямими та сукупними.

Під час прямих вимірювань значення вимірюваної величини визначається безпосередньо з експериментальних даних за показаннями приладів.

У ході непрямих вимірювань значення вимірюваної величини визначається за результатами прямих вимірювань інших величин, які пов'язані з шуканою певною залежністю.

Під час сукупних вимірювань значення вимірюваної величини знаходять із розв'язанням ряду рівнянь, отриманих у результаті прямих вимірювань однієї або декількох однорідних величин.

Найпоширенішими в автоматичному контролі є прямі вимірювання, непрямі застосовуються не так часто, сукупні – частіше в лабораторних дослідженнях.

Прямі вимірювання можна здійснювати методами безпосередньої оцінки, диференційним та компенсаційним. Під час безпосереднього оцінювання шукана величина знаходиться за вимірювальним приладом. Диференційний метод використовується під час вимірювання різниці між шуканою та відомою величинами. У ході застосування компенсаційного методу вимірювана величина врівноважується відомою величиною так, щоб їхня різниця дорівнювала нулю. Компенсаційний метод є найбільш точним.

3.2. Засоби вимірювання

До вимірювальних засобів систем належать вимірювальні перетворювачі й вимірювальні прилади та різні допоміжні пристрої.

Вимірювальний перетворювач – засіб вимірювання, призначений для одержання сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передавання, збереження та обробки, але не доступний для безпосереднього сприйняття.

Вимірювальний прилад – пристрій для одержання вимірюваної інформації у формі, доступний для безпосереднього сприйняття.

Вимірювальний пристрій може складатися з вимірювального перетворювача, що перетворює вимірювану величину на сигнал вимірюваної інформації, та вимірювального приладу, який перетворює цей сигнал у форму, доступну для безпосереднього сприйняття. Ці елементи можуть конструктивно об'єднуватися в єдине ціле (контрольно-вимірювальний прилад) або бути окремими і з'єднуватися між собою каналом зв'язку. У цьому випадку вимірювальний перетворювач називають первинним приладом, або датчиком, а вимірювальний прилад – вторинним.

За типом вимірюваної величини розрізняють прилади для вимірювання температури, тиску, кількості та витрат, рівня, складу та ін.

За видом вихідного сигналу розрізняють аналогові та цифрові прилади. В аналогових приладах показання приладу є безперервною функцією вимірюваної величини. Цифровий прилад виробляє інформацію у вигляді дискретних сигналів цифрової форми.

За способом подання інформації розрізняють відображувальні, реєструвальні та сигналізувальні прилади. Відображувальні прилади дають можливість одержувати вимірювану інформацію безпосередньо на відліковому приладі. Реєструвальні прилади призначено для автоматичного записування

результатів вимірювання. Сигналізувальні прилади мають спеціальні пристрої для вмикання звукової або світлової сигналізації, якщо вимірювана величина досягає заздалегідь установленого значення.

За розташуванням розрізняють місцеві та дистанційні прилади. Місцеві прилади контролю встановлюються на об'єктах контролю. Для зручності спостереження за показаннями приладів вторинні прилади встановлюються на щитах та пультах на деякій відстані від об'єктів. На об'єктах встановлюються тільки датчики. Такі вимірювальні пристрої звуться системами дистанційного контролю.

За метрологічним призначенням розрізняють робочі, зразкові та еталонні прилади. Робочі прилади призначаються для практичних вимірювань; зразкові – для перевірки робочих приладів; еталонні – для відтворення одиниці вимірювання з найвищою досяжною точністю.

3.3. Похибки вимірювальних приладів

Під час вимірювання величин неминуче виникають перекручення, які зумовлюють похибку виміру – відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини. Залежно від причин, які викликали їх появу, похибки діляться на систематичні, випадкові та грубі.

Систематичні похибки є умовно-постійними та виражаються у вигляді різниці між результатами вимірювання робочого та зразкового приладів. Випадкові похибки виникають випадково й не підпорядковуються закономірностям. Грубі – це похибки, що різко відрізняються від інших результатів вимірювання і частіш за все виникають під час неправильної експлуатації приладу.

Для кількісної оцінки похибок вимірювальних приладів розрізняють абсолютну, відносну та наведену відносну похибки.

Абсолютна похибка Δ визначається різницею між показаннями приладу X_n і дійсним значенням вимірюваної величини:

$$\Delta = X_n - X. \quad (3.1)$$

Відносна похибка δ – це відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини, виражена у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \times 100. \quad (3.2)$$

Наведена відносна похибка γ – це відношення абсолютної похибки до діапазону шкали приладу N , виражене у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta}{N} \times 100. \quad (3.3)$$

Під час використання приладу в нормальних умовах має місце *основна похибка*, з відхиленням від нормальних умов експлуатації з'являється *додаткова похибка*. Найбільша наведена основна похибка є *класом точності* приладу. Клас точності приладу вибирається з ряду $(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5) \times 10^n$, де $n=1; 0; -1; -2$. Технічні прилади мають в основному клас точності 0,25; 0,5; 1,0; 1,5, рідше 2,5; 4,0.

Розділ 4. Вимірювання температури

Температура – це один із найважливіших параметрів, який підлягає контролю в технологічних процесах харчових виробництв. Температура характеризує внутрішню енергію тіла. Виміряти її безпосередньо неможливо, тому визначення температури проводиться шляхом вимірювання зміни певних величин, які функціонально пов'язані зі зміною температури. Залежно від принципу дії прилади для вимірювання температури класифікуються за групами:

- термометри розширення (принцип роботи засновано на тепловому розширенні рідин і твердих тіл);
- манометричні термометри (принцип роботи засновано на зміні тиску робочої речовини в постійному об'ємі залежно від температури);
- термометри опору (принцип дії засновано на властивості речовини змінювати свій електричний опір зі зміною температури);
- термоелектричні термометри (принцип дії засновано на залежності термоелектрорушійної сили від температури);
- пірометри випромінювання (принцип роботи засновано на тепловому випромінюванні або яскравості нагрітих тіл).

Перші чотири групи приладів вимірюють температуру шляхом безпосереднього контакту термоперетворювача з вимірюваним середовищем. До безконтактних перетворювачів належать тільки пірометри випромінювання, які вимірюють температуру тіл на деякій відстані від них.

4.1. Термометри розширення

Термометри розширення можуть бути двох видів: рідинно-скляні та механічні.

Рідинно-скляні термометри застосовують для вимірювання температур у діапазоні від -200 до $+750^{\circ}\text{C}$. За своєю конструкцією скляні рідинні термометри бувають паличні та з вкладеною шкалою.

Для заповнення рідинних термометрів використовують ртуть, органічні рідини, водно-спиртові суміші.

Рідинно-скляні термометри широко застосовуються в лабораторній та промисловій практиці завдяки досить високій точності вимірювання, низькій вартості та простоті використання. Недоліками термометрів цієї групи є низька

механічна міцність приладів і токсичність робочого тіла, тому ці термометри не можна використовувати в контактi з харчовими продуктами.

Для механізації процесів та регулювання температури застосовують ртутні електроконтактні термометри, які мають контактний пристрій (із постійною або змінною установкою), який замикається з розширенням ртуті.

Принцип дії механічних термометрів розширення ґрунтується на використанні властивостей твердого тіла змінювати свої лінійні розміри зі зміною температури. У невеликому температурному інтервалі залежність довжини твердого тіла від температури може бути виражена таким лінійним рівнянням:

$$l_t = l_o \cdot (1 + \alpha t), \quad (4.1)$$

де l_t – довжина твердого тіла при температурі t , м; l_o – довжина твердого тіла при температурі 0°C , м; α – коефіцієнт лінійного розширення тіла в інтервалі від 0°C до t , $1/\text{град}$.

Значення коефіцієнтів лінійного розширення для деяких матеріалів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти лінійного розширення матеріалів

Матеріал	$\alpha \cdot 10^6, 1^\circ \text{C}$	Інтервал температур, $^\circ \text{C}$
Латунь	18,3–23,6	0–400
Мідь червона	15,3	0–150
Хром-молібден	12,3	0–100
Інвар	0,9	0–200
Плавлений кварц	0,55	–

Механічні термометри розширення поділяються на дилатометричні та біметалічні.

У дилатометричних термометрах використовується різниця лінійного подовження двох матеріалів, які мають різні коефіцієнти лінійного розширення. Такі термометри здебільшого використовуються не для вимірювання температури, а як первинні вимірювальні перетворювачі в системах автоматичного регулювання температури.

Розглянемо температурне реле ТР-200, яке складається з дилатометра та електроконтактної системи (рис. 4.1). Чутливим елементом реле є латунна трубка 1 та пружина з інвару 2. Латунь порівняно з інваром має більший коефіцієнт лінійного розширення. Під час нагрівання чутливого елемента реле трубка подовжується і вісь з упором 3, що з нею пов'язана, переміщується відносно пружини, що приводить до зменшення зазора, який установлюється залежно від заданого значення температури за допомогою регулювального

гвинта 5. З досягненням заданої температури упор викликає розтягнення пружини та розмикання контактів 4. Зі зниженням температури середовища трубка зменшується, пружина повертається в початкове положення і контакти замикаються. Реле ТР-200 може бути використане для регулювання температури в діапазоні від 25 до 200° С, похибка спрацьовування контактів не перебільшує $\pm 5^{\circ}$ С, розривна потужність контактів в колі змінного струму з напругою 220 В дорівнює 30 ВА. ТР-200 використовується як термореле в схемах регулювання температури фритюру у фритюрницях ФЕСМ-20, в автоматах для смаження пончиків АП-3М.

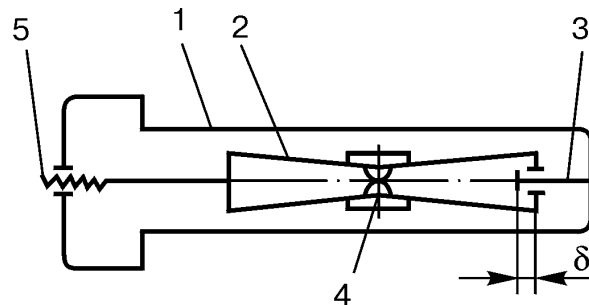


Рисунок 4.1 – Температурне реле ТР-200

Недоліком ТР-200 є відсутність установлювальної шкали, що ускладнює налаштування реле на задану температуру. Установлюють задану температуру обертанням регульовального гвинта з одночасним контролем температури вимірюваного середовища термометром.

Чутливим елементом біметалевого термометра (рис. 4.2) є пружина, яка складається з двох металевих пластин із різним коефіцієнтом лінійного розширення. Оскільки внутрішня пластина має більший коефіцієнт лінійного розширення, ніж зовнішня, під час нагрівання вона буде розкручуватися. Її рух передається на стрілку.

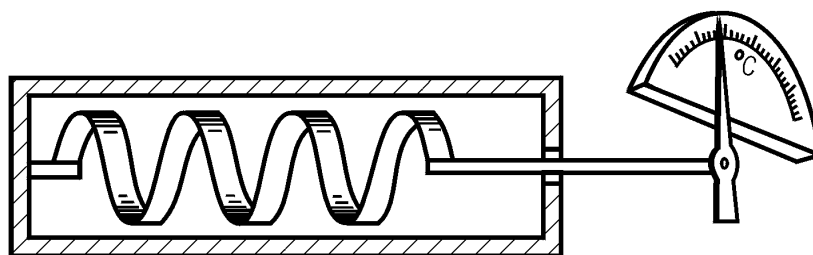


Рисунок 4.2 – Біметалічний термометр

Дилатометричними та біметалевими термометрами вимірюється температура в межах від -150 до $+700^{\circ}$ С. Їх перевагами є простота й надійність, а недоліками – інерційність і невисока точність.

4.2. Манометричні термометри

Манометричні термометри вимірюють температуру в діапазоні від -120 до $+500^{\circ}\text{C}$. Термосистема приладу (рис. 4.3) складається з термобалона 1, який занурюється у вимірюване середовище, капілярної трубки 2 і манометричної пружини 3. Герметична замкнена термосистема заповнена робочою речовиною. Під час нагрівання термобалона тиск робочої речовини термосистеми зростає. Це викликає деформацію манометричної пружини, яка через передавальний механізм пов'язана з вказуючою стрілкою приладу.

Залежно від робочої речовини замкненої системи манометричні термометри поділяють на рідинні, газові та конденсаційні (парорідинні). Довжина капіляра термометра може становити від 1,0 до 40 м. Вимірювальними елементами приладу можуть бути одновиткові та багатовиткові манометричні пружини, сільфони або мембрани.

Залежність тиску від температури визначається таким виразом:

$$p_t = p_o \cdot [1 + \beta \cdot (t - t_o)] \quad (4.2)$$

де $\beta = 1/273,15$ – температурний коефіцієнт розширення газу; t_o та t – початкова й кінцева температура; P_o – робочий тиск речовини при температурі t_o .

Манометричні термометри широко використовуються в харчовому виробництві.

Вони прості, надійні в роботі. Недоліками цієї групи є інерційність, великі габарити термобалона, невисока точність вимірювань (клас точності становить 1,0...4,0).

Для використання в системах автоматичної сигналізації та регулювання випускають електроконтактні манометричні термометри. Манометричний термосигналізатор ТСМ-100 (рис. 4.4) являє собою конденсаційний манометричний термометр, обладнаний електроконтактним пристроєм.

Термосистема складається з термобалона 17, з'єднувальної трубки 1 та багатовиткової манометричної пружини 2. Під час нагрівання термобалона тиск у системі збільшується та викликає деформацію пружини, яка через передавальні пристрої 15, 18 викликає відхилення вказівної стрілки 5 на шкалі 4 приладу. Вісь 16 стрілки з'єднана з контактними щітками 13, які ковзають по двох секторах із контактами 11, 12. Один із секторів пов'язаний з жовтим 6, а другий – з червоним 19 пересувними задавачами температури. З установленням задавачів на потрібну температуру замикання контактів відбувається під час збіжності стрілки й задавача, причому спочатку відбувається замикання контакту з жовтим задавачем, а в разі подальшого підвищення температури – з червоним, при цьому контакт із жовтим задавачем зберігається. Розривна потужність контактів не перевищує 25 Вт із напругою змінного струму 220 В, межею вимірювання $0...100^{\circ}\text{C}$, класом точності 2,5. ТСМ-100 встановлюють у водонагрівачах посудомийних машин.

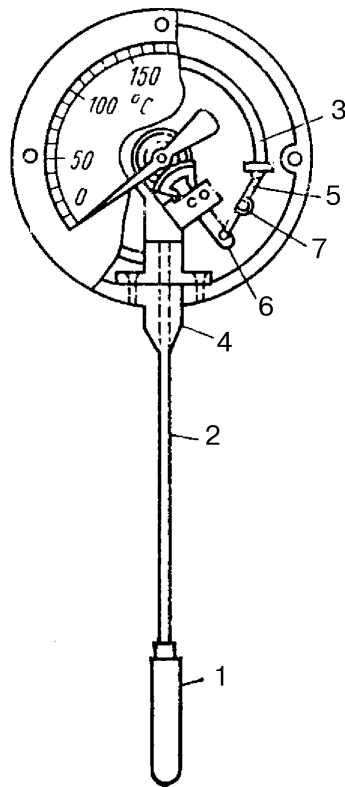


Рисунок 4.3 – Манометричний термометр

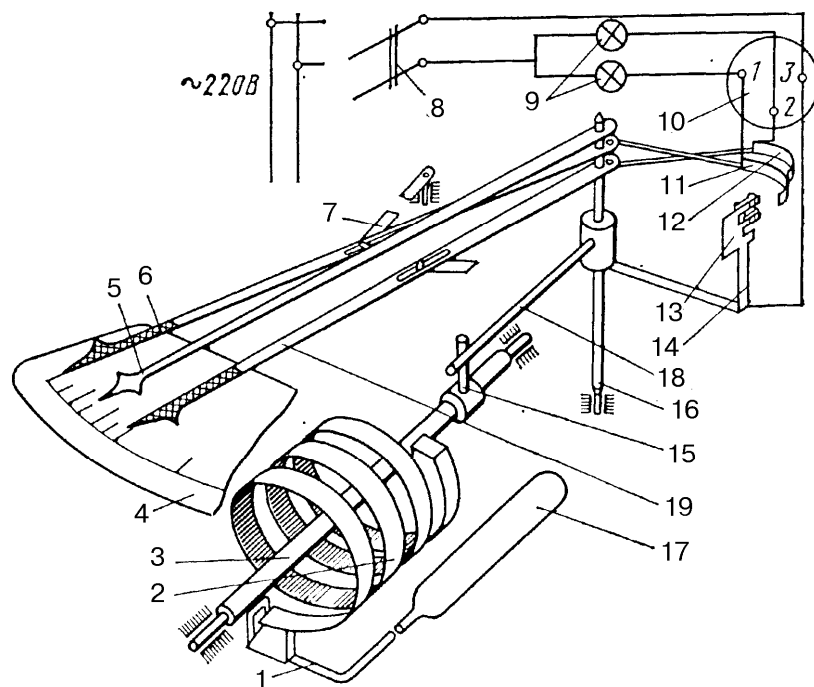


Рисунок 4.4 – Термосигналізатор манометричний ТСМ-100

Температурне реле Т-32 (рис. 4.5) складається з вузла настроювання, манометричної термосистеми та перемикального механізму з контактним пристроєм. Вузол настроювання містить жорсткий упор. До манометричної термосистеми входять термобалон 5, капіляр та мембранна коробка 6 зі

штоком. Термосистема заповнена силіконовою рідиною. Перемикальний механізм складається з важеля 7, штовхача 2 та контактної пристрою 1. Контактний пристрій комутує коло змінного струму напругою 220 В і струмом 10 А. Зона нечутливості приладу дорівнює 6° С.

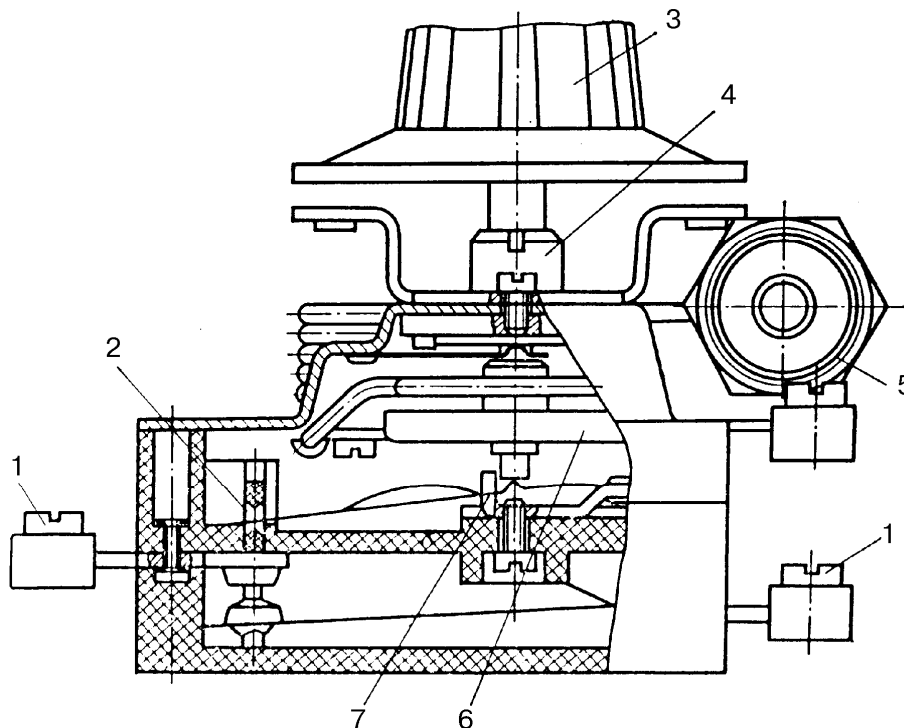


Рисунок 4.5 – Датчик-реле температури Т-32

Зі зміною температури рідина, яка знаходиться в термобалоні, збільшується в об'ємі. Надлишок рідини надходить до мембранної коробки й пересуває мембрану та шток. Шток через важіль діє на штовхач, який розмикає контакти.

Технічні характеристики приладів цього типу наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні дані модифікацій приладу Т-32

Модифікація	Довжина термобалона, мм	Діаметр термобалона, мм	Межі вимірювання, °С	Регульоване середовище
T32-01	280	6,5	50-150	Повітря
T32-02	—	—	100-200	Рідина
T32-03	—	—	100-200	Олії та мінеральні масла
T32-04	120	—	100-300	Повітря, жарильна поверхня
T32-05	90	—	100-450	Те саме
T32-06	120	—	100-350	—
T32-07	90	12	40-85	Вода

Температурне реле Т-32 встановлюють на секційно-модульованому тепловому устаткуванні другого покоління.

4.3. Термометри опору

Термометри опору використовуються для вимірювання температури в межах від -260 до $+750^{\circ}\text{C}$. Принцип дії термометрів опору полягає у властивості провідників та напівпровідників змінювати свій електричний опір залежно від температури. Характер залежності опору R від температури t у провідників та напівпровідників різний: у металів опір зі збільшенням температури зростає, а у напівпровідників зменшується.

До матеріалів, використовуваних як термометри опору, ставляться такі вимоги: залежність опору від температури має бути лінійною або близькою до неї; питомий електричний опір повинен бути досить великим; матеріал повинен мати високу стабільність характеристики $R = f(t)$ та бути інертним до середовища, яке вимірюється.

Незважаючи на те, що чутливість напівпровідникових термометрів у 5–10 разів вища, ніж у металевих, вони застосовуються значно рідше. Це зумовлено тим, що вони мають значний розкид параметрів для зразків одного типу та нестабільну характеристику $R = f(t)$, а також ця характеристика істотно нелінійна. Це ускладнює їх взаємозамінність.

Найбільше розповсюдження для виготовлення термометрів опору набули – платина та мідь.

Платинові термометри опору призначені для вимірювання температури від -260 до $+750^{\circ}\text{C}$, мідні від -50 до $+200^{\circ}\text{C}$. Конструктивно термометри опору складаються з чутливого елемента й захисної арматури. Чутливим елементом є дріт діаметром для платини від 0,05 до 0,1 мм, для міді — 0,08 мм, намотаний на стержень або пластину з ізоляційного матеріалу та розташований у захисному каркасі. Технічні платинові термометри опору випускаються з номінальним значенням опору (при 0°C) 10; 50; 100 Ом з умовними позначками 10П, 50П, 100П. В експлуатації також знаходяться термометри зі старими позначками: гр. 20, гр. 21 та гр. 22 з відповідними значеннями опору 10; 46 та 100 Ом. Мідні термометри позначаються 10 М, 50 М і 100 М, та мають при 0°C відповідно опір 10; 50 та 100 Ом, а також гр. 23 та гр. 24 з опором 53 та 100 Ом.

Залежність опору платини від температури в діапазоні від 0 до 650°C виражається рівнянням

$$R_t = R_0 \cdot (1 + At + Bt^2), \quad (4.3)$$

де R_0 – опір при 0°C ; A , B – постійні коефіцієнти, які визначають при градуванні термометра по точках кипіння води (100°C) і середовища ($444,6^{\circ}\text{C}$)

Термометри опору широко застосовуються в усіх галузях харчової промисловості. Вони чутливі, стабільні в роботі, дають можливість передавати показання на далекі відстані та підключати декілька термометрів до одного вторинного приладу, але схема вимірювання з їх застосуванням досить складна.

Як вимірювальні (вторинні) прилади, що застосовуються в комплекті з термометрами опору, використовуються логометри та врівноважені мости. Принципову схему врівноваженого моста показано на рис. 4.6, а. Міст складається з постійних резисторів R_1 та R_3 , реохорда R_2 , термометра опору R_t та з приєднувальних дротів $2R_{np}$. В одну діагональ моста ввімкнено джерело постійного струму E , а в другу – нуль-прилад HP (чутливий гальванометр). З рівновагою моста в діагоналі bd сила струму $I_0 = 0$. Умовою рівноваги моста є рівність добутків опорів протилежних плечей:

$$(R_t + 2R_{np})R_1 = R_2R_3. \quad (4.4)$$

Зі зміною температури об'єкта змінюється й опір R_t , міст виходить із рівноваги і в діагоналі bd потече струм ($I_0 > 0$), стрілка приладу HP відхиляється.

Щоб повернути міст до рівноваги, необхідно змінювати опір реохорда R_3 доти, доки стрілка приладу не стане на нуль. Опір термометра дорівнює

$$R_t = (R_2 / R_1)R_3 - 2R_{np}. \quad (4.5)$$

Таким чином, кожному значенню R_t відповідає певне значення R_3 . Для зменшення впливу температури навколишнього середовища на опір приєднувальних дротів R_{np} використовується тридротова схема вмикання термометра (рис. 4.6, б), у якій одну з вершин моста переносять безпосередньо до термометра. Умова рівноваги в цьому випадку матиме такий вигляд:

$$R_t + R_{np} = (R_2 + R_{np})(R_3 / R_1). \quad (4.6)$$

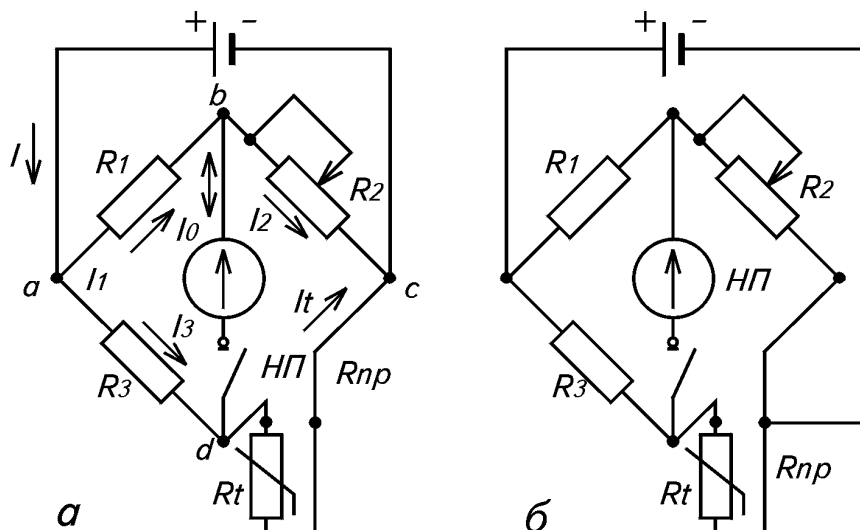


Рисунок 4.6 – Принципова схема урівноваженого моста з термометром опору

автоматичної системи спостереження.

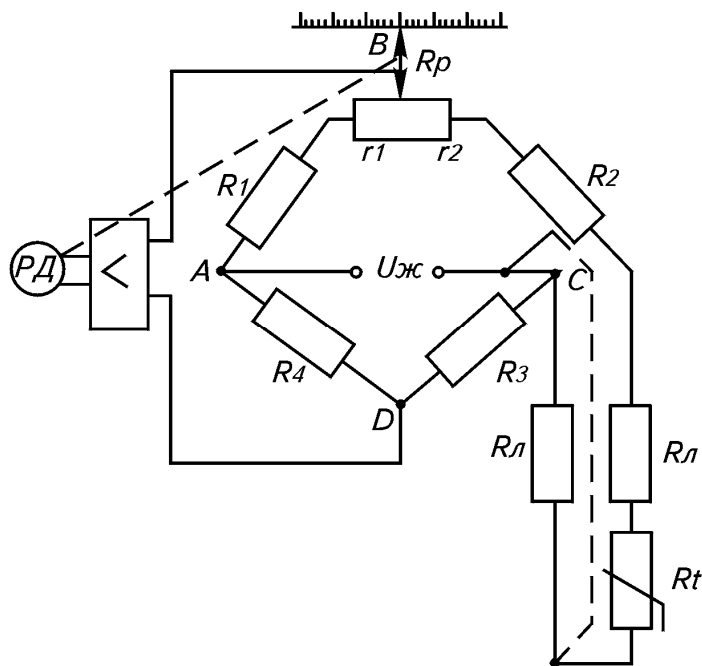


Рисунок 4.7 – Спрощена принципова схема автоматичного моста

R_t – термометр опору; R_p – реохорд, частина якого r_1 включена в плече AB , а інша частина r_2 – у плече BC . Величини r_1 та r_2 залежать від положення движка реохорда; R_l – опір приєднувальних дрітів; $U_{ж}$ – джерело стабілізованого живлення, включено в діагональ AC моста; EP – електричний підсилювач, включений у діагональ моста BD ; PD – реверсивний двигун, ротор якого через редуктор переміщує движок реохорда.

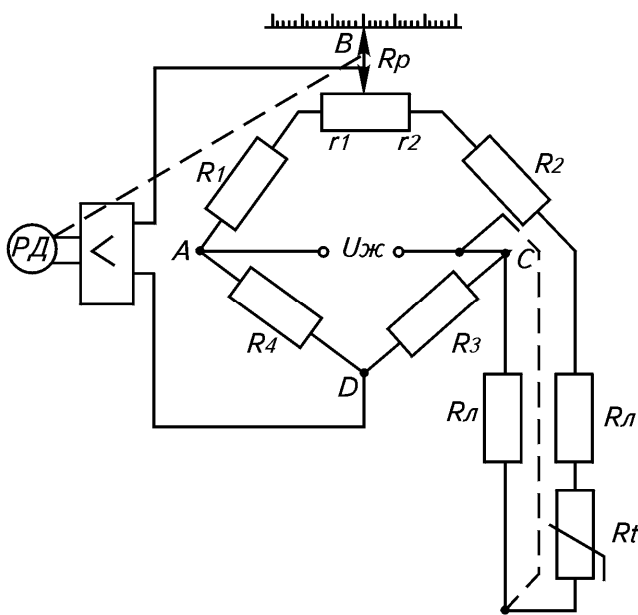


Рисунок 4.7 – Спрощена принципова схема автоматичного моста

Зі зміною температури об'єкта змінюється опір термометра R_t , при цьому порушується рівновага моста і на вхід підсилювача $ЕП$ з діагоналі BD моста надходить сигнал небалансу $U_{вд} \neq 0$. Цей сигнал підсилюється підсилювачем $ЕП$, який управляє реверсивним двигуном $РД$, що переміщує движок реохорда R_p доти, доки напруга небалансу $U_{вд}$ не буде дорівнювати нулю. Одночасно з переміщенням движка реохорда переміщується і вказівна стрілка.

Автоматичні врівноважені мости є технічними приладами досить високого класу точності (0,25; 0,5; 1,0). Випускаються такі типи автоматичних мостів: КВМ2, КСМ1, КПМ1, КСМ2, КСМ3, КСМ4.

4.4. Термоелектричні термометри

Термоелектричні термометри складаються з термоелектричного перетворювача (термопари), електровимірювального приладу та приєднувальних дротів. Ці вимірювальні пристрої застосовуються для вимірювання температури від -200 до $+2500^\circ \text{C}$.

Принцип дії ґрунтується на термоелектричному ефекті, який полягає в тому, що в замкненому ланцюзі з двох або декількох різнорідних провідників виникає термоелектрорушійна сила (термоЕРС), якщо місця з'єднання провідників мають різну температуру. Перетворювач складається з двох термоелектродів A і B (рис. 4.8), з'єднаних між собою тільки кінцями (спаями). Під час нагрівання робочого (гарячого) спаю t в колі з'являється термоЕРС E , пропорційна різниці температур t та t_0 . Якщо температуру протилежного (холодного) спаю підтримувати постійною й такою, що дорівнює 0°C , то за величиною термоЕРС E можна робити висновки про температуру гарячого спаю.

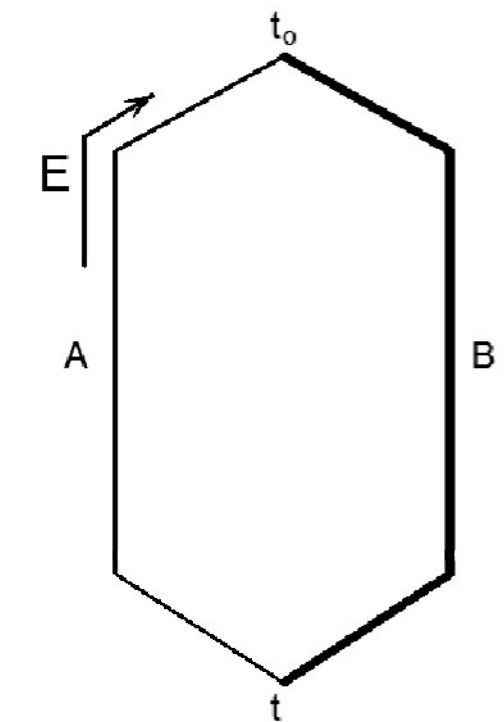


Рисунок 4.8 – Термоелектричний перетворювач

Термопари виготовляються з чистих металів або сплавів. Найбільше поширення здобули такі типи термопар: платина-платинородій (ТПП), хромель-алюмель (ТХА) та хромель-копель (ТХК).

ТПП використовують для вимірювання температур до 1600°C , при 100°C її термоЕРС дорівнює $0,64\text{ мВ}$; вона використовується як зразкова. ТХА вимірюють температуру до 1300°C , термоЕРС при 100°C – $4,10\text{ мВ}$. ТХК вимірюють температуру до 800°C , термоЕРС при 100°C – $6,95\text{ мВ}$.

До переваг термоелектричних термометрів належать такі: чутливість, малі розміри первинного перетворювача, можливість вимірювання високих температур і передавання показань на відстані.

Недоліками термопар є мала величина термоЕРС і необхідність підтримання постійної температури холодних спайів.

Для вимірювання термоЕРС термопар застосовуються мілівольтметри і потенціометри.

Принцип дії потенціометра ґрунтується на компенсації вимірюваної термоЕРС відомою напругою, яку одержують від допоміжного джерела живлення. У принциповій схемі потенціометра (рис. 4.9) допоміжне джерело E підключається в точках A і B до реохорда R_{AB} , ковзний контакт D якого підключено до термопари. Послідовно з термопарою вмикається нуль-прилад $НП$ (чутливий мілівольтметр). Термопара підключена так, що її термоЕРС $E(tt_0)$ спрямована назустріч ЕРС джерела E .

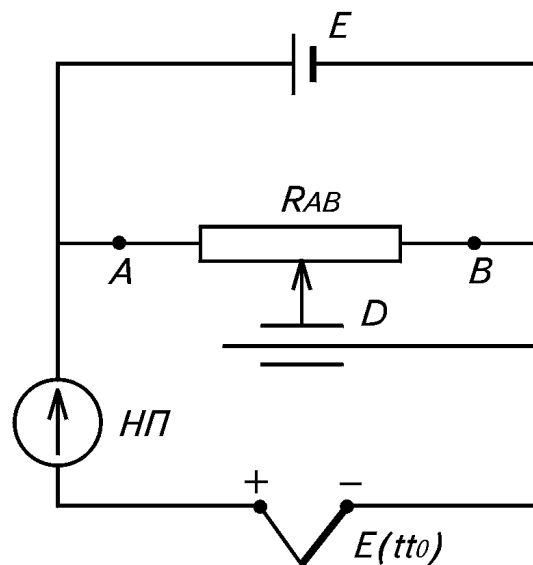


Рисунок 4.9 – Принципова схема потенціометра для вимірювання термоЕРС

Для вимірювання термоЕРС $E(tt_0)$ контакт D переміщують доти, доки стрілка $НП$ не стане на нульову позначку шкали. У цьому випадку падіння напруги на ділянці AD реохорда буде дорівнювати такому, що вимірюється термоЕРС $E(tt_0)$. Реохорд R_{AB} може бути обладнаний шкалою, за якою можна визначити величину $E(tt_0)$ в мілівольтах або градусах.

Широко застосовуються автоматичні потенціометри, які окрім вимірювання та записування температури можуть бути використані й для її

регулювання. У автоматичному потенціометрі (рис. 4.10) у ролі джерела відомої напруги використовують напругу діагоналі моста U_{bd} , що залежить від положення движка реохорда R_p . Напруга U_{bd} компенсує невідому термоЕРС E_x .

Якщо $U_{bd}=E_x$, то на вході підсилювача ЕП сигнал дорівнює нулю. Зі зміною температури змінюється E_x , і виникає сигнал небалансу $\Delta U=E_x - U_{bd}$, який підсилюється і вмикає реверсивний двигун РД, що переміщує движок реохорда R_p доти, доки U_{bd} не буде дорівнювати E_x . Одночасно переміщується і вказівна стрілка. Знаючи U_{bd} , можна визначити величину E_x і тим самим значення вимірюваної температури.

Випускаються такі типи потенціометрів: КСП1, КСП2, КСП3, КСП4, клас точності 0,5÷1,5.

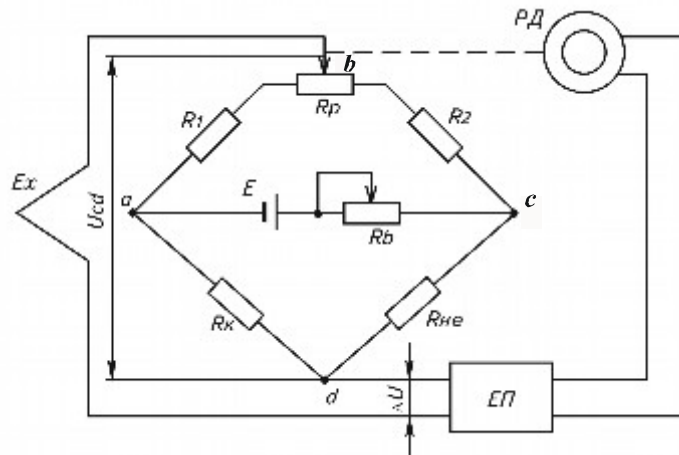


Рисунок 4.10 – Автоматичний потенціометр

У наш час для вимірювання швидкозмінних величин температури в комплекті з термопарами широко застосовуються цифрові мілівольтметри типу А565 та ЦТ-300.

4.5. Прилади для безконтактного визначення температури (Пірометри)

Пірометри призначаються для безконтактного вимірювання температури поверхні непрозорих тел. Вони широко використовуються там, де через технологічні особливості устаткування або з міркувань безпеки обслуговуючого персоналу установлення контактних датчиків температури неможливе або ускладнене. Сферами застосування цих приладів є промисловість, наукові дослідження, будівництво, транспорт, комунальне господарство, теплоенергетика, охоронний бізнес і багато інших напрямів економічної діяльності людини.

Яскравісні пірометри дозволяють візуально визначати, зазвичай без використання спеціальних пристроїв, температуру нагрітого тіла шляхом порівняння його кольору з кольором еталонної нитки.

Радіаційні пірометри оцінюють температуру за допомогою розрахованого показника потужності теплового випромінювання. Якщо

пірометр вимірює в широкій смузі спектрального випромінювання, то його називають пірометром повного випромінювання.

Кольорові пірометри (мультиспектральні, спектрального відношення) – дозволяють зробити висновок про температуру об'єкта, ґрунтуючись на результатах порівняння його теплового випромінювання в різних спектрах.

Залежно від температурного діапазону пірометри поділяють на: 1) *низькотемпературні*, які мають здатність показувати температуру об'єктів, що характеризується навіть негативними значеннями цього параметра; 2) *високотемпературні*, які оцінюють лише температуру сильно нагрітих тіл, коли визначення «на око» не є можливим, зазвичай вони мають сильний зсув у бік «верхньої» межі вимірювання.

Пірометри бувають:

- *переносні*, зручні в експлуатації в умовах, коли необхідна висока точність вимірювання разом із хорошими рухливими властивостями, наприклад для оцінки температури важкодоступних ділянок трубопроводів;

- *стаціонарні*, призначені для більш точної оцінки температури об'єктів.

Залежно від візуалізації величин у пірометрах застосовують такі методи:

- *текстово-цифровий* (вимірювана температура виражається в градусах на цифровому дисплеї.);

- *графічний*, що дозволяє бачити спостережуваний об'єкта у спектральному розкладанні областей низьких, середніх і високих температур, виділених різними кольорами.

У радіаційних пірометрах використовується тепла дія повного випромінювання нагрітого тіла, включаючи як видиме, так і невидиме випромінювання. Як чутливий елемент у радіаційних пірометрах використовується термобатарея з декількох мініатюрних послідовно з'єднаних термопар 2 (рис. 4.11), робочі спаї яких нагріваються випромінюванням об'єкта вимірювання (1), фокусованих за допомогою оптичної системи (3).

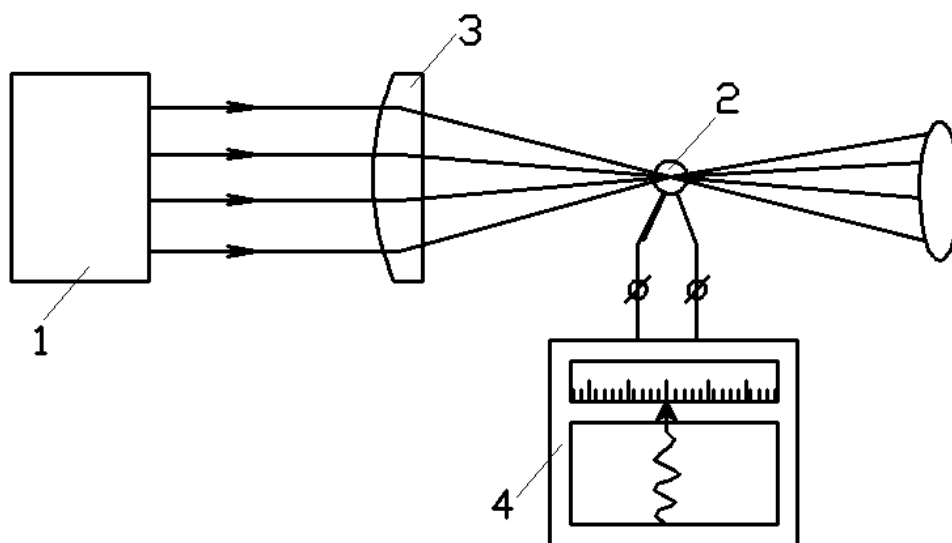


Рисунок 4.11 – Схема радіаційного пірометра

Термоелектрична рухлива сила, що виникає вимірюється за допомогою мілівольтметра або автоматичного потенціометра (4), градуированого в градусах.

Пірометри спектрального відношення визначають температуру об'єкта відносно сигналів від двох приймачів, що працюють на різних довжинах хвиль. Використання трьох спектрів дозволяє значно знизити залежність похибки вимірювання від зміни величини коефіцієнта випромінювання і від зміни відношення ϵ_1/ϵ_2 .

Усі переносні пірометри відображають на рідкокристалічному екрані мінімальну, середню, максимальну температура досліджуваної поверхні й різницю між нижнім і верхнім значеннями температури (перемикання режиму проводиться натисненням сенсорної клавіші або кнопки).

Висвічується на екрані приладу і значення коефіцієнта випромінювання (цей показник змінюється в пірометрах від 0,1 до 1, правильно підібраний коефіцієнт випромінювання знижує похибку вимірювань, проведених методом оптичної пірометрії).

Пірометр CENTER 350 (рис. 4.12) дозволяє виміряти температуру без безпосереднього контакту з об'єктом вимірювання.



Рисунок 4.12 – Пірометр CENTER 350

Діапазон температур – 20...+500° С. Модель має лазерний ціле вказівник, який полегшує точне прицілювання на віддалений об'єкт вимірювання.

Таблиця 4.3 – Основні технічні характеристики пірометра CENTER 350

Параметр	Значення
Діапазон температур	–20...500° С (–4...932° F)
Точність	± 2° С (± 3° F) або 2 %
Оптичний дозвіл	8:1
Повторюваність	2% від вимірюваної величини
Час відгуку	500 мсек
Спектральний діапазон	7...18 мкм

1	2
Коефіцієнт випромінювання	0,98
Умови навколишнього середовища: температура вологість	0...+40° С 10...9 %
Живлення	9 В батарея типу «Крона»
Час роботи батареї	15 год.
Вага	180 г

Розділ 5. Вимірювання тиску

Тиск – це відношення сили, рівномірно розподіленої по нормальній до неї поверхні, до площі цієї поверхні. Розрізняють абсолютний тиск $P_{абс}$, який дорівнює сумі атмосферного $P_{атм}$ та надмірного P_n тиску: $P_{абс} = P_{атм} + P_n$; вакуумний (вакуум) P_v , який дорівнює різниці атмосферного $P_{атм}$ і абсолютного $P_{абс}$ тиску: $P_v = P_{атм} - P_{абс}$.

За родом вимірюваної величини прилади для вимірювання тиску поділяються на манометри, які вимірюють абсолютний P_a й надмірний тиск рідини, газу або пари; вакуумметри – для вимірювання тиску розрідженого газу P_v ; диференційні манометри для вимірювання різниці двох тисків та ін.

За принципом дії прилади для вимірювання тиску діляться на рідинні, деформаційні та електричні.

Прилади для вимірювання тиску можуть бути показувальними, самописними, з електроконтактним пристроєм.

5.1. Рідинні манометри

Принцип дії рідинних манометрів полягає в тому, що вимірюваний тиск урівноважується гідростатичним тиском стовпа робочої рідини. Рідинні манометри прості в експлуатації, мають досить високу точність вимірювання, їх широко використовують для науково-дослідних і лабораторних вимірювань, а також для технічних вимірювань невеликих надмірних тисків, розрідження, різниці тисків, атмосферного тиску.

За будовою рідинні манометри поділяються на прилади з видимим та без видимого рівня.

До приладів із видимим рівнем належать двотрубні (U-подібні), чашкові (однотрубні) та мікроманометри з похилою трубкою.

Двотрубний манометр (рис. 5.1) являє собою U-подібну скляну трубку приблизно до половини заповнену робочою рідиною (вода, ртуть, спирт).

Вимірюваний тиск, розрідження або різниця тисків урівноважуються і вимірюються стовпом H робочої рідини, що дорівнює сумі стовпів h_1 і h_2 в обох колінах.

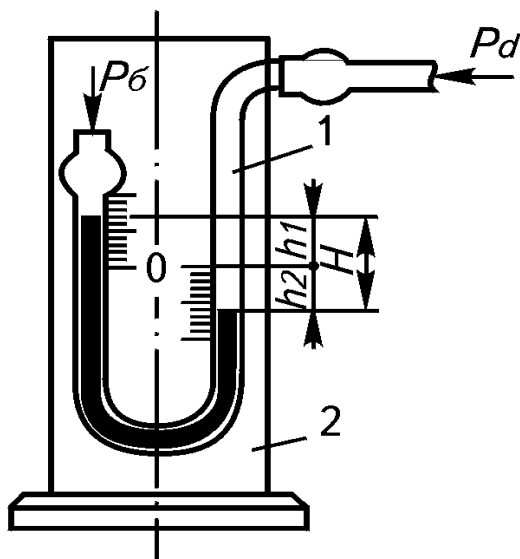


Рисунок 5.1 – Рідинний двотрубний манометр

Тиск можна визначити з виразу

$$p = \rho g H, \quad (5.1)$$

де ρ – густина робочої рідини, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; H – різниця рівнів робочої рідини в колінах.

U-подібні манометри застосовуються для вимірювання тиску до 0,196 МПа.

Прилади без видимого рівня застосовуються для технічних вимірювань, як диференціальні манометри. До них належать поплавкові, кільцеві та колокольні.

5.2. Деформаційні манометри

Принцип дії деформаційних манометрів полягає в тому, що тиск вимірюється за величиною деформації пружних елементів. Деформаційні манометри відрізняються простотою та надійністю конструкції, невеликими габаритами, досить високою точністю, широким діапазоном вимірювання. Завдяки цим якостям деформаційні манометри широко застосовуються в різних галузях техніки в діапазоні вимірювань від 50 Па до 1000 МПа.

Розрізняють такі чутливі елементи деформаційних манометрів (рис. 5.2): одно- та багатовиткові трубчасті пружини, мембрани, сильфони та ін.

У приладі з трубчастою одновитковою пружиною (рис. 5.2, а) овального або еліптичного перетинів під впливом надмірного тиску, що подається у внутрішню порожнину, пружина деформується, а її вільний кінець переміщується, діючи на передавальний механізм, який повертає стрілку приладу.

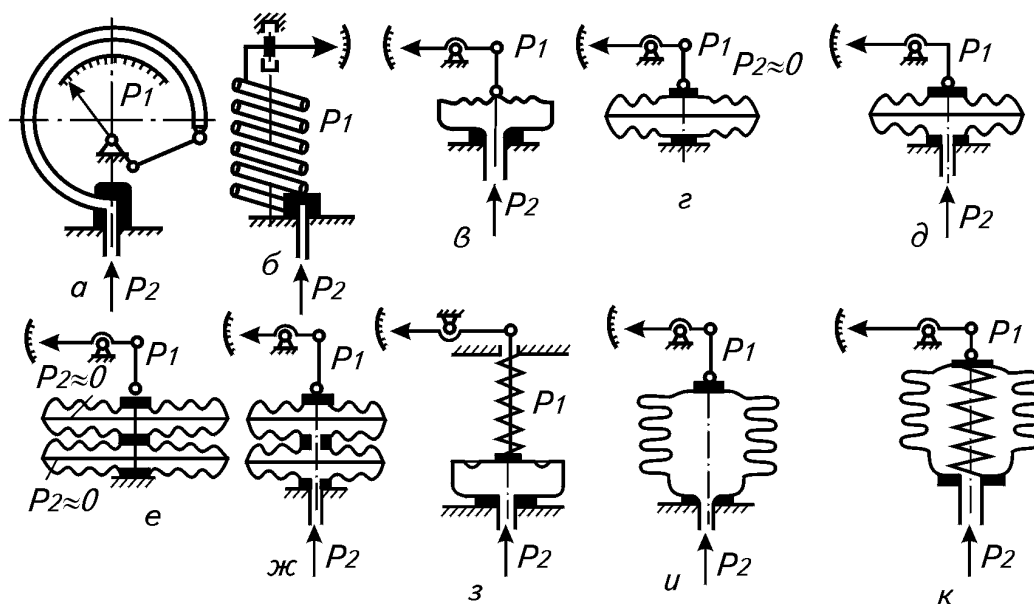


Рисунок 5.2 – Чутливі елементи деформаційних манометрів

Окрім показувальних приладів широко застосовуються електроконтактні манометри, які призначаються для вимірювання, сигналізації та регулювання тиску. Електроконтактний манометр типу ЕКМ (рис. 5.3) за принципом дії аналогічний вказівному манометру з трубчастою одновитковою пружиною. Для сигналізації та регулювання він має контактний механізм, який містить три електроконтакти, два з них установлені на задавачах верхньої 2 та нижньої 1 межі, а третій – на вказівній стрілці 3. Установлення задавача на необхідні межі здійснюється обертанням гвинта 5.

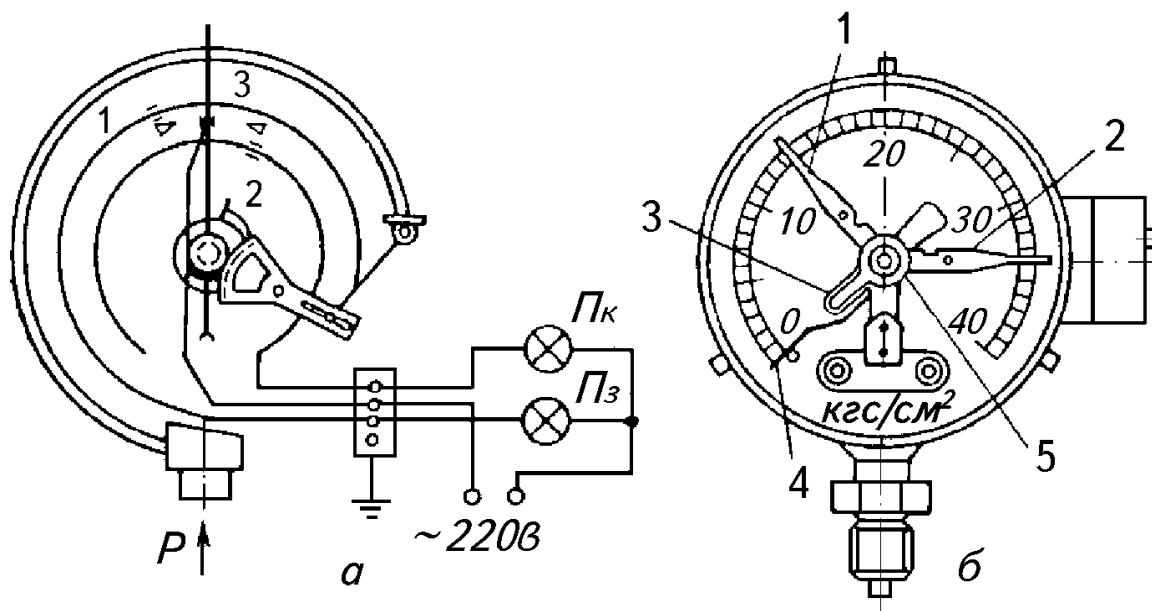


Рисунок 5.3 – Електроконтактний манометр типу ЕКМ

Якщо вимірюваний тиск збільшиться і досягне верхньої заданої межі, замкнеться контакт між вказівною стрілкою й задавачем верхньої межі; зі зниженням тиску до нижньої межі замикається контакт між стрілкою і задавачем нижньої межі.

Електроконтактні манометри ЕКМ випускаються з межами вимірювання від 1 до 1600 кгс/см² (0,1–160 МПа), розривна потужність контактів 10 ВА, клас точності 2,5. Ці прилади встановлюються для регулювання тиску у варильних котлах та автоклавах.

У реле тиску РД-4 (рис. 5.4) чутливим елементом є гумова мембрана 6, яка через золотник 1 з'єднана з важелем 5. Настроювання реле на заданий тиск здійснюється за допомогою регулювальної гайки 3, яка стискає пружину 2, урівноважуючи контролюючий тиск, що діє на мембрану знизу через штуцер. Із досягненням заданої межі тиску мембрана через золотник діє на важіль, який перемикає контакти мікроперемикача 4.

Реле тиску РД-4 застосовується для контролю тиску рідини або газу і встановлюється в пароварильних апаратах АПЕСМ, мармітах МЕСМ і торговельних автоматах.

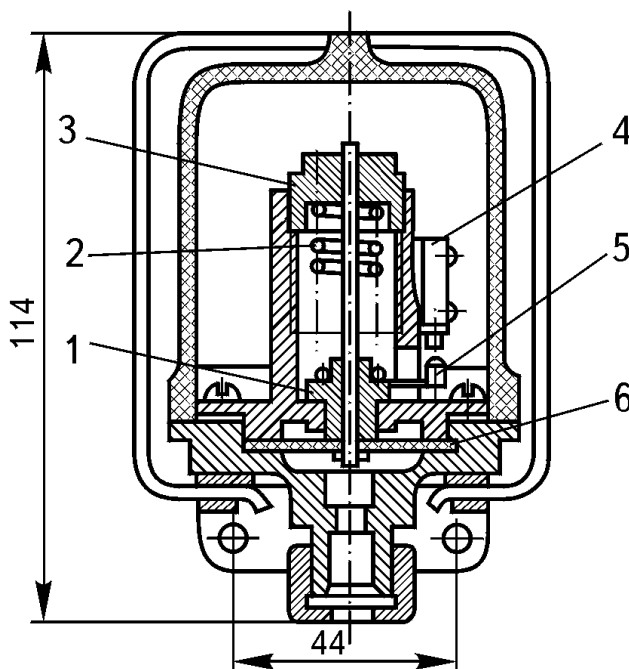


Рисунок 5.4 – Реле тиску РД-4

5.3. Електричні манометри

Принцип дії електричних манометрів полягає у використанні залежності електричних параметрів матеріалів від тиску. Прилади цієї групи застосовуються для вимірювання високих тисків та глибокого вакууму і відрізняються високою точністю, швидкою дією, малими габаритами, вібро- та

ударостійкістю. Найбільшого розповсюдження набули манометри опору та п'єзоелектричні.

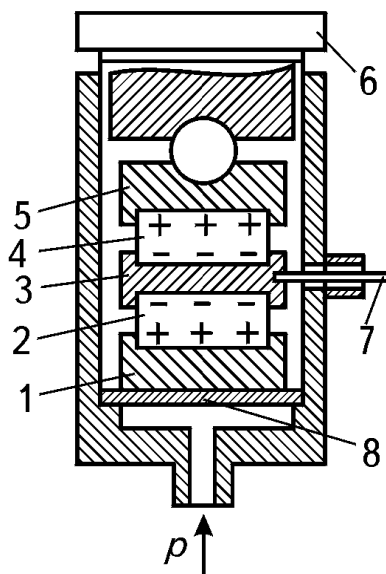


Рисунок 5.5 – Датчик п'єзокварцового манометра

Принцип дії п'єзоелектричних манометрів засновано на використанні п'єзоелектричного ефекту, тобто ефекту виникнення електромагнітних зарядів під час деформації деяких кристалів (кварцу, турмаліну, барію та ін.). Пристрій датчика п'єзокварцового манометра показано на рис. 5.5. Чутливим елементом датчика є дві кварцові пластини 2 та 4, які розділені контактною пластинкою 3, які за допомогою шайб 1, 5 затискаються між мембраною 8 та кришкою 6. Електричний заряд знімається з кварцових пластин і за допомогою провідника 7 подається на вимірювальний пристрій.

П'єзокварцові манометри – це безінерційні прилади, що застосовуються для вимірювання швидкозмінного тиску, рівень вимірювання тиску – до 100 МПа.

Для вимірювання зусиль або пропорційної йому деформації широко застосовуються тензометричні перетворювачі, у яких електричний опір залежить від зміни деформації. Тензометр являє собою манганіновий дріт діаметром 0,02–0,05 мм, наклеєний на ізоляційну основу (папір).

Розділ 6. Вимірювання рівня, витрат та кількості речовин

6.1. Вимірювання рівня

Контроль рівня рідини та сипких матеріалів у апаратах, резервуарах, бункерах широко використовується під час автоматизації технологічних процесів харчових виробництв. Особливе значення має вимірювання рівня в тих випадках, коли необхідно забезпечити безпеку роботи устаткування – харчоварильних котлів, автоклавів, кип'ятильників та ін. Крім того, контроль

рівня проводиться для обліку матеріалів, запобігання переповненню ємності та бункерів, сигналізації відхилення рівня від заданого значення, а також для вимірювання порцій матеріалів, які використовуються. Залежно від характеру роботи рівнеміри поділяються на вимірювачі та сигналізатори. За принципом дії рівнеміри діляться на поплавкові, гідростатичні, електричні, вагові та ін.

У *поплавковому рівнемірі* переміщення поплавка на поверхні рідини передається на показувальний пристрій. Поплавкові рівнеміри можуть використовуватись для регулювання рівня рідини в резервуарі. Поплавок (рис. 6.1) з'єднано через важільний пристрій із клапаном, який регулює постачання рідини з трубопроводу до резервуара. Із підвищенням рівня рідини поплавок піднімається і діє на клапан, який зменшує постачання рідини. Такі регулятори рівня застосовуються, наприклад, у кип'ятильниках безперервної дії для регулювання постачання води з водопроводу в живильну ємність. Недоліком поплавкових рівнемірів і регуляторів рівня є велика металоємність, недостатня надійність і точність.

У *гідростатичних рівнемірах* вимірювання рівня рідини базується на вимірюванні тиску, який утворює стовп рідини, і застосовується для вимірювання рівня в ємностях, які знаходяться під тиском. За способом вимірювання гідростатичні рівнеміри по діляються на прилади з безперервним продуванням повітря (п'єзометричні) і з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини.

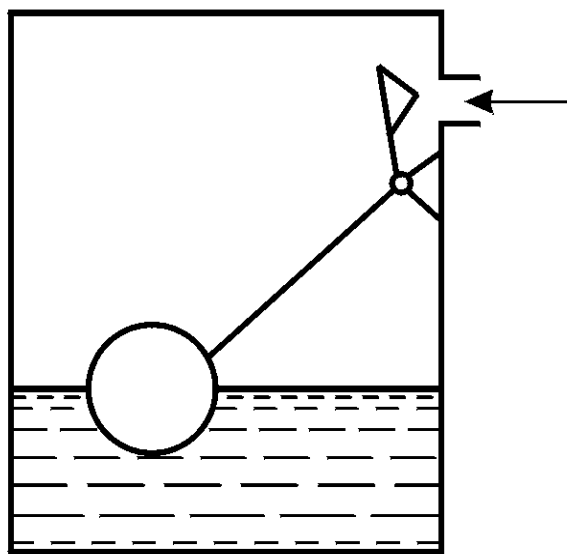


Рисунок 6.1 – Поплавковий рівнемір

У цьому рівнемірі (рис. 6.2) стиснене повітря крізь дросель 1 та ротаметр 2 подається у відкриту з одного кінця п'єзометричну трубку 3, занурену в резервуар 5.

Тиск повітря в п'єзометричній трубці зумовлюється протитиском стовпа рідини і дорівнює йому. Отже, тиск повітря, що вимірюється манометром 4, характеризує рівень води в резервуарі. Величина витрат повітря, яке

безперервно продувається крізь п'єзоелектричну трубку, установлюється дроселем I і контролюється ротаметром 2.

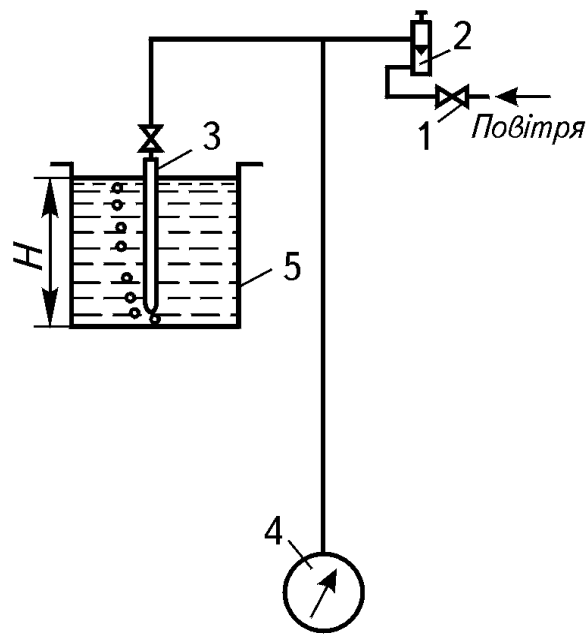


Рисунок 6.2 – П'єзоелектричний рівнемір

В *електричних рівнемірах* зміна рівня перетворюється на пропорційний електричний сигнал. Найбільше розповсюджені ємнісні та електролітичні рівнеміри.

У ємнісних рівнемірах використовуються діелектричні властивості рідини. Перетворювач ємнісного рівнеміра (рис. 6.3) являє собою електричний конденсатор, який перетворює зміну рівня рідини на пропорційну зміну ємності.

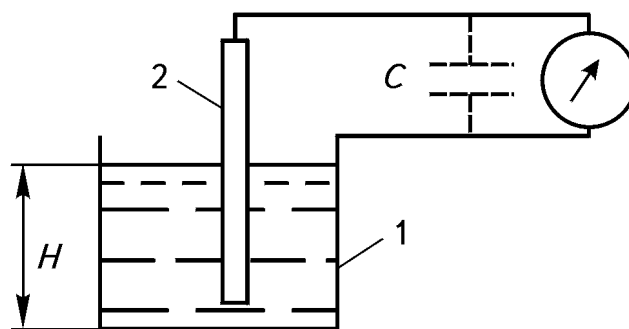


Рисунок 6.3 – Ємнісний рівнемір

Дія електролітичних (електроконтактних) сигналізаторів рівня заснована на електропровідності рідини. Прилад складається з електромагнітного реле, яке вмикається послідовно з електродом, установленим на певному рівні в резервуарі (рис. 6.4). Коли рівень рідини досягає електрода E , коло між електродом та корпусом резервуара замикається.

Електроконтактні сигналізатори рівня широко застосовуються для сигналізації та підтримування в заданих межах рівня води в теплових апаратах підприємств харчування (харчоварильних котлах, автоклавах, кип'ятильниках).

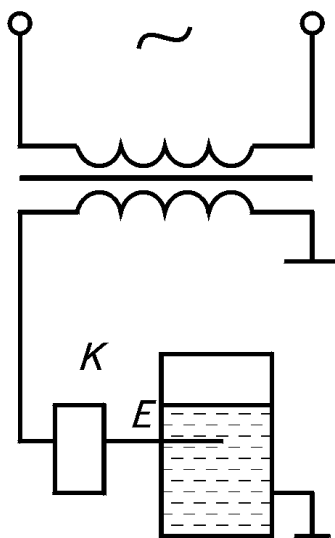


Рисунок 6.4 – Електролітичний сигналізатор рівня

Електростатичний сигналізатор є простим у використанні, має високу точність контролю заданих положень рівня, проте наявність безпосереднього електричного контакту з середовищем, яке контролюється, призводить до корозії та забруднення електродів, що знижує надійність приладу.

6.2. Вимірювання витрати та кількості речовин

Під час управління технологічними процесами необхідно точно відмірювати (дозувати) кількість сировини, продуктів або напівфабрикатів, а також визначати витрати води, водяної пари, газу, інших рідинних, газоподібних і твердих речовин за одиницю часу.

Витратою речовини називають її кількість, що проходить крізь переріз каналу за одиницю часу. Об'ємна витрата вимірюється в $\text{м}^3/\text{с}$, а маса – у $\text{кг}/\text{с}$.

Об'ємна витрата ($\text{м}^3/\text{с}$) розраховується за формулою

$$Q_v = \frac{V}{\tau}, \quad (6.1)$$

де V – об'єм речовини, м^3 ; τ – тривалість переміщення речовини, с ;

Масова витрата ($\text{кг}/\text{с}$) розраховується таким чином:

$$Q_M = \frac{M}{\tau}, \quad (6.2)$$

де M – маса речовини, кг .

Лічильники для автоматичного обліку штучної продукції. У процесі виробництва необхідно вести облік кількості виробленої продукції, фасованої в різну тару (пляшки, банки, ящики). Для автоматичного обліку застосовують різного типу лічильники: механічні, електромеханічні, електромагнітні, фотоелектричні та ін.

Механічний лічильник зазвичай є місцевим приладом, у якого перетворювачі мають важільний або турнікетний привід. На рис. 6.5, *а* показано конструкцію механічного лічильника типу важеля. Механізм лічильника складається з набору барабанів, пов'язаних десятиковою передачею. На барабани нанесено цифри від 0 до 9. Перший барабан приводиться в обертання важелем 5, який повертається рухаються по транспортеру вантажем і за допомогою заслінки 4 і храпового колеса 3 переміщує барабан на один крок. Механізм 6 барабана десятків не досягає зубців своїх храпових коліс, оскільки барабан одиниць праворуч спирається фіксатором на борт барабана десятків, а лапка 1 – на його заслінку. Коли барабан одиниць зробить повний оберт, механізм 6 барабана десятків потрапляє в правий проріз 2 бортика барабана і одночасно в зчеплення з храповим колесом барабана десятків, повертаючи його на 1/10 оберту.

На рис. 6.5, *б* показано схему конструкції механічного лічильника турнікетною типу. Лічильник складається з перетворювача, зірки 5 з шістьма металевими пальцями 4, жорстко закріпленими на валу 6. На кінці вала закріплена шестигранна втулка 1, яка фіксує кожне положення вала. Грані втулки взаємодіють із переривачем 2, з'єднаним із лічильниковим пристроєм 3 за допомогою пружини і важеля. Вал 6 установлений у підшипниках 7, у корпусі яких умонтовано фіксувальні механізми, що стримують вал від довільного обертання. Рухаючись транспортером, штучні вантажі наштовхуються на пальці зірки і обертають її разом із валом на 1/6 оберту, лічильник при цьому виробляє відлік.

Електромеханічний лічильник являє собою прилад із дистанційною передачею вимірювань (рис. 6.5, *б*). Лічильник складається з механічного перетворювача, мікровимикача і власне лічильника. Перетворювач лічильника являє собою фіксуючу хрестовину 2, виготовлену з двох сталевих листів 6, між якими прокладена виступаюча гумова прокладка 14. Пластини скріплено болтами 5. Хрестовина встановлена на фланець 12 і закріплена гайкою 4. Усередині фланця проходить центруючий фланець 7 із гайкою 3. До фланця 7 приварений кронштейн 8 із двома болтами 9 для кріплення вузла лічильника. Для гальмування перетворювача під час руху по транспортеру 1 штучного вантажу у фланцях 7 і 12 встановлено чотири фіксатори, кожен з яких складається з пружини 11 і кульки 10. Фіксатори забезпечують поворот перетворювача лише під впливом чергового штучного вантажу.

При повороті перетворювач упорами 13 діє на мікровимикач, підключений в електричний ланцюг лічильника типу СЕІ, встановленого поруч на щиті.

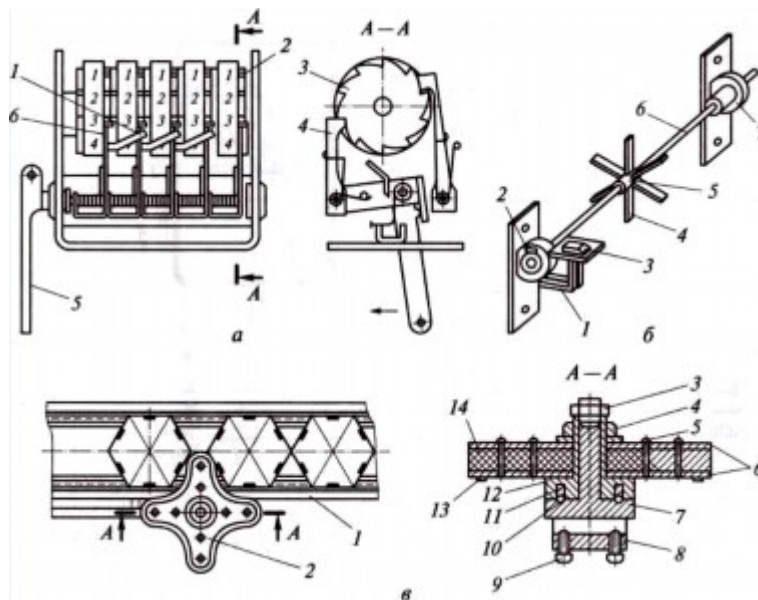


Рисунок 6.5 – Механічні лічильники штучної продукції: а – важільний; б – турнікетний; в – електромеханічний

Електромагнітний лічильник (рис. 6.6, а) містить такі елементи: роликовий лічильниковий механізм 1 звичайної конструкції, вісь 2 якого обертається за допомогою храпового колеса 3, насадженого на ту ж саму вісь, і заціпки 4, насадженої на вісь 5; електромагнітний привід, що складається з електромагніта 7, якоря 9 із важелем 8, обертової пружини 10 і ланцюгів управління 6.

Зусиллям штучного вантажу, що переміщується стрічкою транспортера, короткочасно (імпульсно) замикається кнопковий вимикач ланцюга управління, струм подається на котушку електромагніта 7, якорь 9 притягується, заціпка 4 храпового механізму обертає храпове колесо на один крок, лічильник фіксує одну штуку вантажу і т.д.

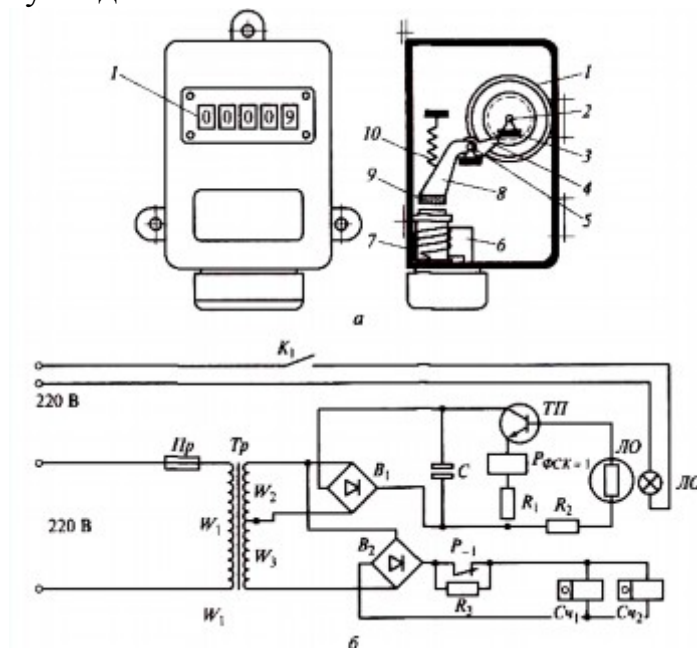


Рисунок 6.6 – Електричні лічильники штучної продукції: а – електромагнітний; б – фотоелектричний

Фотоелектричний лічильник – це безконтактний прилад, призначений для обліку непрозоро штучної продукції, яку переміщують транспортером, зокрема коробок, ящиків та ін. На рис. 6.6, б наведено принципову електричну схему фотоелектричного лічильника типу СФЕ. Конструктивно лічильник складається з трьох блоків. Перший блок містить освітлювач і трансформатор і монтується з одного боку транспортера, другий блок містить фотоопір і об'єктив і монтується з іншого боку транспортера. Третій блок, що включає інші елементи електричної схеми та імпульсний лічильник, монтується на щиті. Робота лічильника полягає в наступному. Штучний вантаж, пересуваючись транспортером між освітлювальною лампою ЛВ і фотоопором ФСК-1, перериває промінь світла, що падає на фотоопір. У цей момент електричний опір його різко зростає, струм у ланцюзі транзистора ТП падає, реле Р знеструмлюється і розімкненим контактом Р1 замикає ланцюг живлення імпульсних лічильних механізмів Сч₁ і Сч₂.

Прилади, які вимірюють витрату, називаються *витратомірами*. Для вимірювання об'єму або маси речовини застосовуються *лічильники кількості*.

Для вимірювання кількості рідини застосовують швидкісні та об'ємні лічильники. У швидкісних лічильниках кількість рідини, що пройшла через прилад, визначається за середньою швидкістю потоку, що рухається $v_{\text{сер}}$:

$$v = Q/S, \quad (6.3)$$

де Q – об'ємна витрата рідини, м³/с; S – площа поперечного перерізу потоку, м².

Середню швидкість потоку можна визначити за частотою обертання лопатевої турбіни, розташованої на шляху потоку

$$n = c \cdot v_{\text{сер}}, \quad (6.4)$$

де n – частота обертання турбіни; c – коефіцієнт пропорційності.

З урахуванням рівняння отримаємо

$$n = c \cdot Q/S. \quad (6.5)$$

Із рівняння випливає, що кількість обертів турбіни пропорційна кількості рідини, яка протікає.

Для вимірювання кількості та витрати рідини й газу використовують тахометричні лічильники, витратоміри змінного та постійного перепаду тиску й електромагнітні. Для вимірювання маси твердих та сипких матеріалів застосовуються вагові лічильники; дозування сипких та рідинних речовин проводиться об'ємними та ваговими дозаторами.

За принципом дії тахометричні лічильники рідини й газу поділяються на швидкісні та об'ємні. У *швидкісних* приладах рідина, яка протікає крізь камеру, обертає вертушку, кутова швидкість якої пропорційна швидкості потоку. Такі прилади використовуються як лічильники гарячої та холодної води.

Застосовують лічильники з крильчаткою, які розміщуються перпендикулярно до вимірюваного потоку, і з гвинтовою вертушкою (рис. 6.7), у яких потік рідини спрямовано паралельно до осі вертушки.

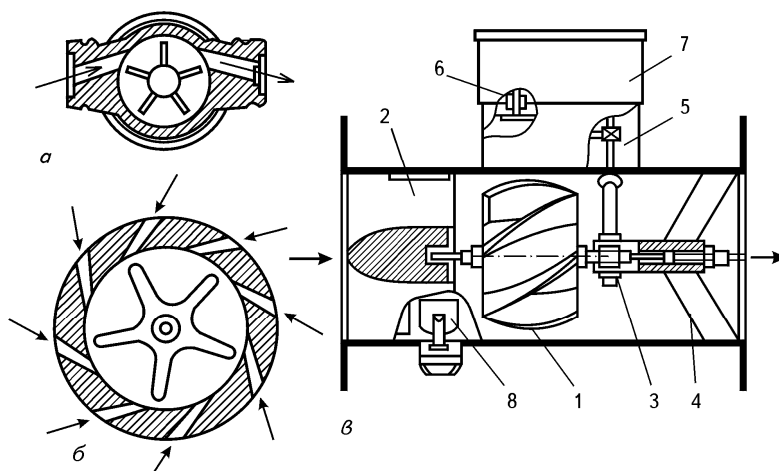


Рисунок 6.7 – Швидкісні лічильники рідини: а, б – із крильчаткою, в – із гвинтовою вертушкою

Для вимірювання кількості газу найчастіше застосовуються *об'ємні лічильники*. Вони бувають шестеренні, газоротаційні, з кільцевим поршнем.

На рис. 6.8, а наведено конструкцію *шестереного лічильника*. Лічильник складається з вимірювальної камери з овальними шестернями, магнітної муфти, передавального механізму та лічильної головки, яка включає лічильний механізм, стрілковий показчик на нуль. Корпус лічильника 10 являє собою сталевий виливок із підвідних і відвідних патрубками і фланцями для приєднання до трубопроводу. У корпусі розміщена вимірювальна камера 9, у задню кришку 7 якої запресовано дві осі 6 із нержавіючої сталі. На них насаджено овальні шестерні 8, які зчепленні між собою і під час обертання взаємно обкатувати одна одну. У торці однієї з шестерень розташований хвостовик 11 із зубчастим колесом 13, що передає обертання на радіальну магнітну муфту 14. Магнітна муфта складається з постійного магніту, у формі скоби і сталевго осердя 3, закріпленого на осі передавального механізму лічильної головки і розташованого між полюсами магніту скоби. Між скобою й осердям поміщається немагнітна перегородка 4. Під час обертання скоба силою магнітного притягання тягне за собою сталеве осердя, який через вісь і передавальний механізм передає обертання на вісь лічильної головки. Кришка лічильника 15 так само, як і корпус, являє собою сталевий виливок, у якому кріпляться радіальна магнітна муфта і плата 16 із передавальним механізмом 17. Кришка кріпиться до корпусу 10 шпильками 12 і ущільнюється прокладкою 5.

Суммируючий механізм лічильної головки складається з стрілкового лічильного показчика 1 і п'яти роликів 18 роликового лічильного показчика, розміщених на одній осі і зв'язаних між собою трубками. Стрілковий показчик показує поточне значення витрати рідини, роликовий лічильний показчик

ураховує загальну кількість рідини, яка пройшла крізь лічильник. На рис. 6.8, б показано принцип дії лічильника.

Проходячи крізь лічильник, потік рідини витрачає частину своєї енергії на обертання овальних коліс. Залежно від розташування коліс відносно входу потоку рідини кожне з них по черзі є то ведучим, то веденим. Під час обертання овальних коліс періодично відсікається певний об'єм рідини, обмежений овалом вимірювальної камери. За один оберт колеса відсікаються чотири певних об'єми рідини, які в сумі дорівнюють вільному об'єму вимірювальної камери лічильника. Кількість рідини, що пройшла крізь лічильник, визначається за кількістю обертів овальних коліс. У положенні I (рис. 6.8, б) рідина обертає праве колесо за годинниковою стрілкою, а праве колесо обертає ліве проти годинникової стрілки. У цьому положенні праве колесо відсікає певний об'єм I рідини.

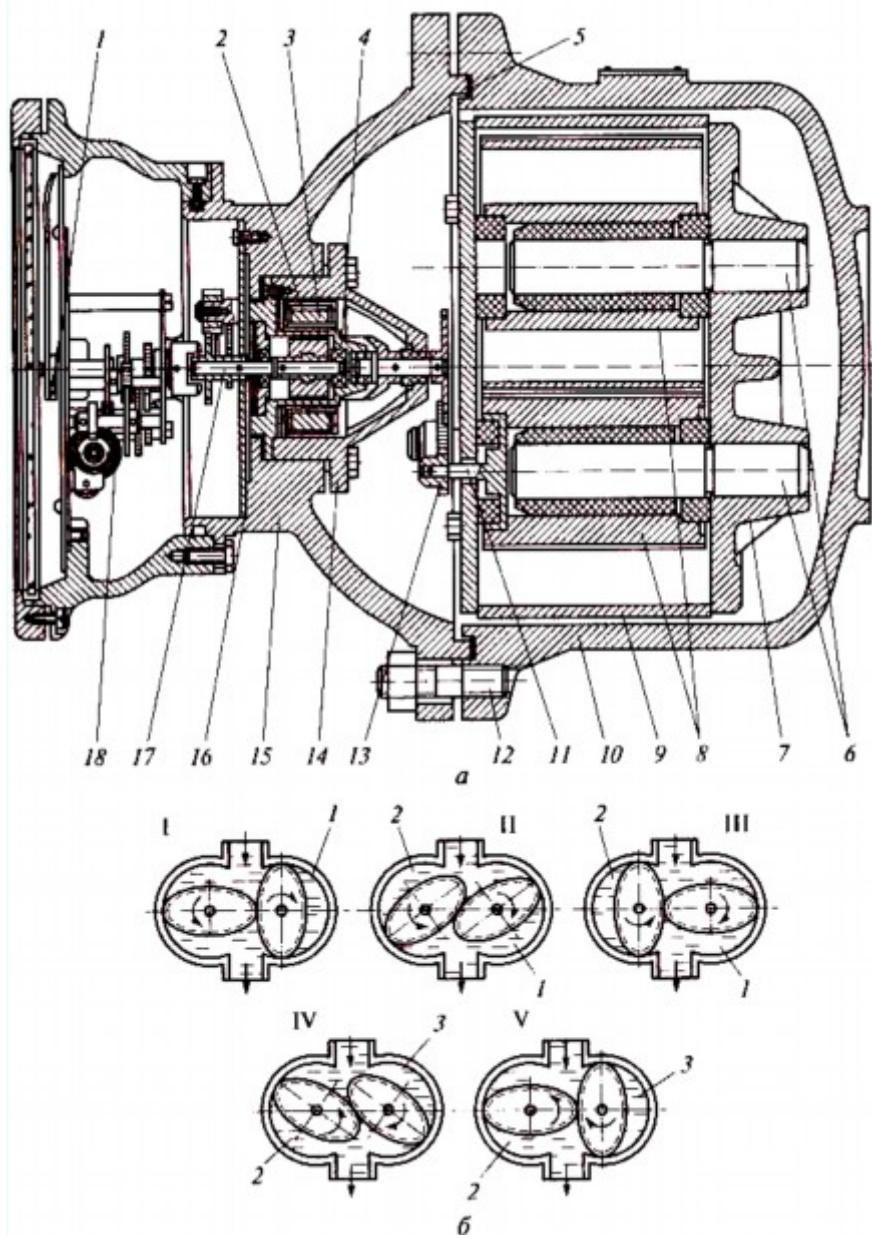


Рисунок 6.8 – Шестеренний лічильник рідини: а – конструкція лічильника:
б – схема дії лічильника

У положенні II ліве колесо закінчує відсікання нового об'єму 2 рідини, а праве виштовхує раніше відсічений об'єм 1 рідини у вихідний патрубок лічильника. У цьому положенні крутний момент передається на обидва колеса. У положенні III ведучим буде ліве колесо, яке до цього часу вже відсікло об'єм 2. Воно обертає праве колесо за годинниковою стрілкою. Подальше обертання шестерень відбувається аналогічно (положення IV і V), з відповідними об'ємами 2 і 3 рідини.

Ротаційні лічильники (рис. 6.9). У середині кожуха 2 лічильника обертаються ротори 1. Вали роторів зв'язані між собою зубчастими колесами, які знаходяться поза корпусом. Обертання одного з валів передається на лічильний механізм. За один оберт ротор відсікає чотири об'єми газу, які в сумі дорівнюють об'єму вимірювальної камери лічильника.

Одним із найбільш поширених методів вимірювання витрати рідини, газу та пари є метод змінного перепаду тиску, оснований на вимірюванні різниці тисків, яка створюється будь-яким звужуючим пристроєм, установленим у трубопроводі на шляху руху речовини.

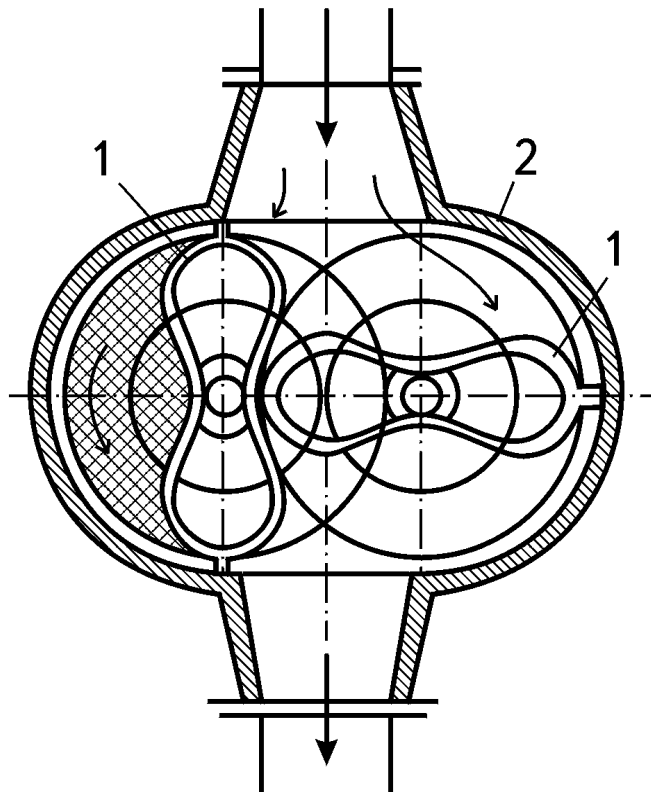


Рисунок 6.9 – Ротаційний лічильник

Під час протікання речовини крізь звужувальний пристрій (діафрагму) частина потенційної енергії потоку переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку у звуженому перетині підвищується, а тиск зменшується. Таким чином, під час руху речовини утворюється різниця тисків до і після звужувального пристрою. Різниця цих тисків (ΔP) залежить від швидкості речовини і буде тим більша, чим більша витрата речовини, що протікає.

Вимірюючи дифманометром різницю тисків до та після звужувального пристрою, можна визначити витрату речовини.

Лічильні пристрої. Підсумовуючі прилади (лічильники або інтегратори) для обліку показань мають стрілковий або роликовий лічильний механізм (рис. 6.10). У деяких приладах наявні обидва ці механізми. Прилад із стрілковим механізмом містить декілька кругових шкал, із них одна велика (одиниці) і кілька малих (десятки, сотні та ін.) зі співвідношенням 1:10, стрілки яких зв'язані між собою і з ведучою віссю зубчастої передачі.

Прилад із роликовим лічильним механізмом містить кілька десятизубчастих коліс (роликів) із нанесеними на ободі цифрами від 0 до 9, одну з яких видно у відповідному вікні циферблата. Крайнє справа колесо одиниць при кожному повороті провідної осі повертається на один зубець. У момент переходу цифри з 9 на 0 це колесо викликає поворот на один зубець суміжного з ним колеса десятків, у вікні якого з'являється наступна цифра, і т.д. Є також комбіновані лічильні механізми, у яких відлік першої цифри виконується стрілковим пристроєм, а всіх наступних – роликовим. Показання лічильного механізму має граничне значення – ємність. Після досягнення цього значення прилад починає рахунок з нуля.

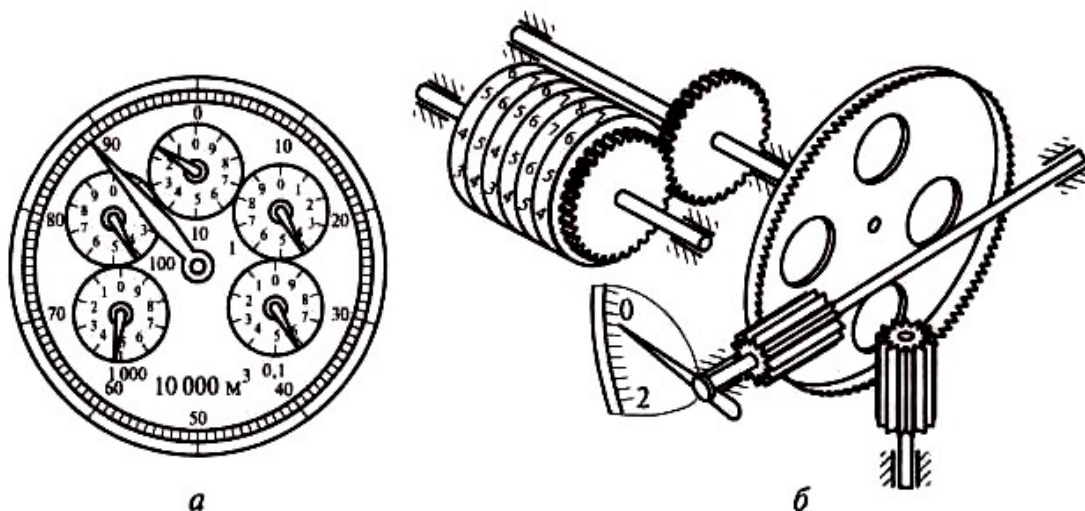


Рисунок 6.10 – Відлікові механізми приладів: а – стрілковий; б – роликовий

Витратоміри змінного перепаду тиску. Принцип дії витратоміра засновано на зміні потенційної енергії (статичного тиску) речовини, що протікає крізь місцеве звуження в трубопроводі. Витратоміром вимірюють перепад тиску, створений звужувальним пристроєм, установленим у трубопроводі на шляху потоку вимірюваної речовини. Перепад тиску тим більший, чим більша швидкість речовини, що тече і отже, її витрата. Залежність між витратою рідини Q , м³/с, і перепадом тиску виражається рівнянням

$$n = \alpha \varepsilon F_o \sqrt{(2 / \rho)} \cdot \Delta p, \quad (6.6)$$

де α – коефіцієнт витрати, що залежить від геометричної форми пристрою звуження і фізичних властивостей вимірюваного середовища; ε – поправковий

коефіцієнт, що враховує вплив стискальності вимірюваного середовища під час проходження потоку крізь звужувальний пристрій (для рідини $\kappa = 1$); F_o – площа прохідного перерізу пристрою звуження, м^2 ; ρ – густина вимірюваного середовища, кг/м^3 ; ΔP – перепад тиску, Па.

Звужувальний пристрій є первинним перетворювачем витратоміра, у комплект якого крім нього входять з'єднувальні лінії (імпульсні трубки), додаткові пристрої (розділові посудини, конденсаційні посудини) і вимірювальний прилад (диференціальний манометр).

На рис. 6.11 а, наведено схему установки пристрою звуження (діафрагми) у трубопроводі, проходження потоку крізь нього і графік розподілу статичного тиску по довжині струменя.

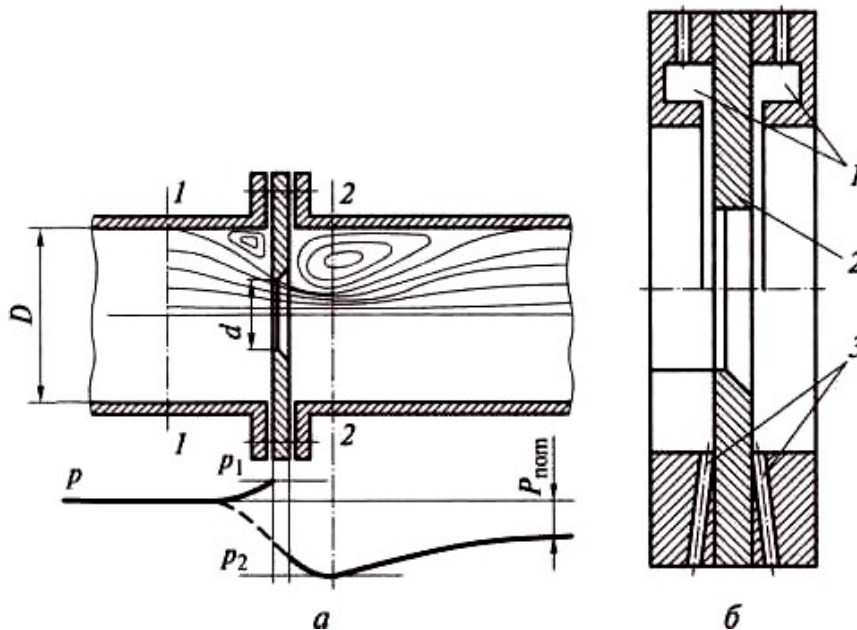


Рисунок 6.11 – Схема пристрою звуження витратоміра: а – установлення діафрагми на трубопроводі; б – нормальна діафрагма

Звуження потоку починається в перерізі 1-1 перед діафрагмою з діаметром D і внаслідок дії сил інерції досягає найбільшого значення вже за діафрагмою, після чого потік знову розширюється до повного перерізу трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею утворюються зони з вихровим рухом, причому зона вихорів за діафрагмою більша, ніж перед нею. Тиск потоку біля стінки трубопроводу зростає до p_1 у результаті підпору перед діафрагмою і знижується до мінімуму p_2 за діафрагмою в найвужчому перерізі потоку 2-2, де він менший, ніж отвір діафрагми d . Далі в міру розширення потоку тиск біля стінки знову підвищується, але не досягає колишнього значення на величину $P_{\text{пот.}}$, названу залишковою втратою тиску. Пояснюється це в основному втратами енергії на тертя і завихрення. Звужувальні пристрої виготовляють трьох типів: нормальні діафрагми, сопла і труби Вентурі. Основні їх розміри нормалізовано. Для всіх пристроїв дослідним шляхом визначено значення коефіцієнтів витрати α , що дозволяє застосовувати їх без попереднього градування. Найбільш широко застосовують нормальні діафрагми.

Нормальна діафрагма (рис. 6.11, б) являє собою тонкий металевий диск 2 із концентричним отвором, який у вхідній частині робиться циліндричним із гострою кромкою, а потім розточується на конус під кутом 30...45°. Товщина нормальної діафрагми становить 0,01D (діаметра трубопроводу), довжина циліндричної частини отвору 0,02D. Нормальні діафрагми є камерні (рис. 6.11, б вище осі) і безкамерні (рис. 6.11, б нижче осі).

Відбір тиску в камерній діафрагмі проводиться за допомогою двох кільцевих зрівняльних камер 1, розташованих у її корпусі перед диском і за ним і з'єднаних із внутрішньою порожниною трубопроводу кільцевими щілинами. Кільцеві камери дозволяють усереднити тиск по колу трубопроводу, що забезпечує більш точне вимірювання перепаду тиску. Відбір тиску в безкамерній діафрагмі проводиться за допомогою двох отворів 3: у корпусі діафрагми або у фланцях трубопроводу перед диском і за ним. Нормальні діафрагми застосовують для трубопроводів діаметром не менше 50 мм за умови $0,05 \geq (d / D) \leq 0,7$.

Витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри) застосовуються для вимірювання витрати чистих та малозабруднених рідин і газів, протікають у трубопроводах без значних змін витрати, особливо широко що у спиртовому, виноробному, пиво-безалкогольному та інших виробництвах.

Поплавковий витратомір із диференційно-трансформаторним перетворювачем зображено на рис. 6.12. Вимірювальна частина витратоміра складається з циліндричного металевого корпусу 1 із діафрагмою 2. У середині діафрагми переміщується конусний поплавок 3, насаджений на шток 4. Під дією потоку рідини поплавок може переміщуватися в отворі діафрагми. На верхньому кінці штока закріплено осердя 5 диференційно-трансформаторного перетворювача. Осердя переміщується всередині трубки 6, зовні якої знаходиться котушка перетворювача. До вторинного приладу

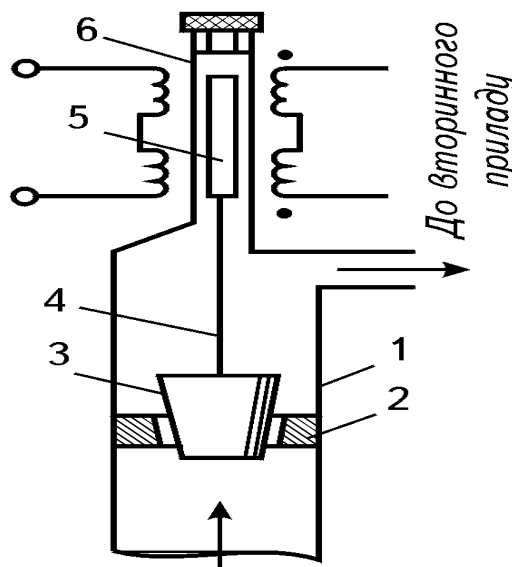


Рисунок 6.13 – Поплавковий витратомір із диференційно-трансформаторним перетворювачем

Витратоміри змінного рівня. Принцип дії засновано на залежності рівня рідини в ємності від витрати рідини, що проходить крізь неї (рис. 6.13).

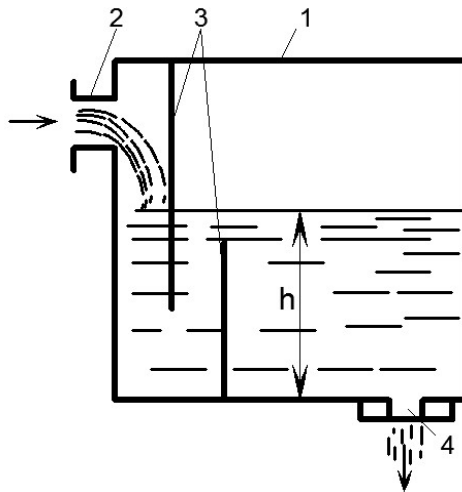


Рисунок 6.13 – Поплавковий витратомір із диференційно-трансформаторним перетворювачем: 1 – рівномірне скло; 2 – патрубок; 3 – перегородки; 4 – діафрагма

Через нижній переріз труби витрата визначається виразом:

$$Q = \varepsilon \cdot \mu \cdot s \sqrt{2 / \rho \Delta P}. \quad (6.7)$$

Підставивши вираз для перепаду тиску, отримаємо

$$Q = \varepsilon s \mu \sqrt{2 g h}. \quad (6.8)$$

Отже,

$$Q = f(h).$$

Електромагнітні витратоміри. Принцип дії засновано на зміні ЕРС, індукованої під дією зовнішнього магнітного поля в потоці електропровідної рідини, залежно від її швидкості. Застосовується для кислот, лугів, соляних розчинів (рис. 6.14).

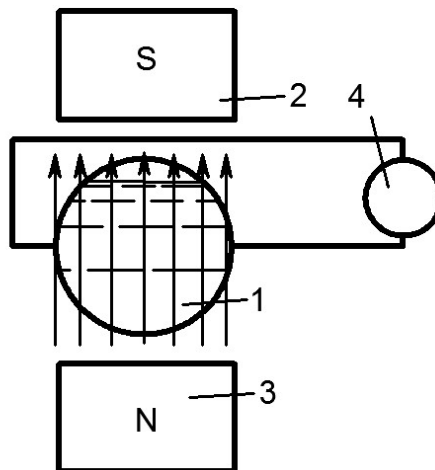


Рисунок 6.14 – Електромагнітний витратомір

Під час проходження рідини крізь однорідне магнітне поле в ній з'являється ЕРС, яка буде пропорційна середній швидкості потоку:

$$E = BlV_{cp} = Bl \frac{Q}{S}, \quad (6.9)$$

де B – магнітна індукція; l – відстань між електродами.

Ультразвукові витратоміри. Принцип дії ультразвукових витратомірів засновано на вимірюванні якого-небудь акустичного ефекту, що виникає під час проходження ультразвукових коливань у потоці рідини й залежить від витрати. Широко використовуються витратоміри, засновані на явищі зміщення звукових коливань рухомою рідиною. Якщо рідина в каналі нерухома, то тривалість проходження імпульсу дорівнює $t = \frac{l}{c}$, де l – відстань між випромінювачем і приймачем ультразвуку; c – швидкість ультразвуку.

За умов руху рідини зі швидкістю v час проходження ультразвуку за напрямом потоку t_1 і проти потоку t_2 складатиме: $t_1 = \frac{l}{c+v}$; $t_2 = \frac{l}{c-v}$.

Звідки $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2lv}{c^2 - v^2}$.

Оскільки $c > v$, то величиною v^2 у знаменнику можна знехтувати. Отже, $\Delta t = \frac{2lv}{c^2}$. Ця різниця часу проходження імпульсів за потоком і проти нього є мірою витрати.

Принцип дії вихроакустичних пристроїв засновано на ультразвуковому детектуванні вихорів, що утворюються в потоці рідини під час обтікання нею призми, розташованої поперек потоку (рис. 6.15).

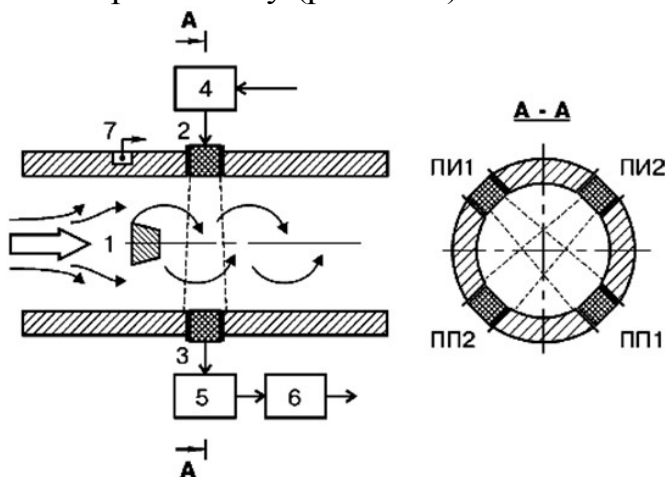


Рисунок 6.15 – Ультразвуковий витратомір

Перетворювач складається з проточної частини й електронного блока. У проточній частині розташовані тіло обтікання – призма трапецієподібної форми, п'єзовипромінювач і п'єзоприймач. Електронний блок включає фазовий

детектор і блок формування вихідних сигналів. Під час обтікання призми потоком рідини за ним утворюється вихрова доріжка, частота проходження вихорів якої пропорційна витраті. Ультразвукові коливання, які виходять із випромінювача, пройшовши крізь потік, у результаті взаємодії з вихорами виявляються модульованими по фазі. На виході фазового детектора утворюється напруга, що за частотою й амплітудою відповідає інтенсивності й частоті, та яка завдяки пропорційності швидкості потоку є мірою витрати.

Калориметричні витратоміри. Принцип дії полягає в нагріванні потоку технологічного середовища стороннім джерелом енергії, що створює в ньому різницю температур, і заснований на її залежності від швидкості потоку. Різницю температур підтримують постійною, а про швидкість потоку і, отже, величину витрати середовища роблять висновки за витратою кількості теплоти в нагрівачі.

Розділ 7. Контроль фізичних властивостей та складу речовини

Автоматичний контроль фізичних властивостей та складу речовин у ході їх переробки дозволяє більш ефективно провадити процес, безпосередньо діючи на якісні показники кінцевого продукту. Засоби вимірювання для отримання інформації про склад та властивості речовин називають аналізаторами.

7.1. Вимірювання густини рідини

Густина – це маса речовини в одиниці об'єму, що вимірюється в кг/м^3 . Прилади для вимірювання густини називаються густиномірами і за принципом дії поділяються на вагові, поплавкові та гідростатичні.

Принцип дії вагових густиномірів оснований на вимірюванні маси рідини відповідного постійного об'єму

$$m = V \cdot \rho, \quad (7.1)$$

де m – маса, кг ; V – об'єм, м^3 ; ρ – густина, кг/м^3 .

Крім вимірювання густини звичайних рідин, вагові густиноміри використовуються для суспензій та пульп, що у своєму складі мають тверді часточки.

Поплавкові густиноміри – прилади, принцип дії яких оснований на законі Архімеда. Їх застосовують для вимірювання густини однорідних рідин. Поплавкові густиноміри бувають із плаваючим та повністю зануреним поплавком. У перших мірою густини є глибина занурення поплавка, у других – виштовхувальна сила, пропорційна густині рідини. У лабораторіях застосовуються поплавкові густиноміри – ареометри.

У харчових виробництвах використовуються автоматичні поплавкові густиноміри.

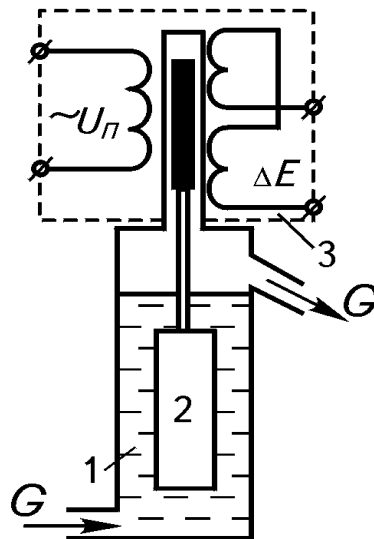


Рисунок 7.1 – Автоматичний поплавковий густиномір

Густиномір (рис. 7.1) складається з робочої камери 1 (посудина постійного рівня) і поплавка 2. Зі зміною густини рідини поплавок переміщується і разом із ним рухається осердя диференційно-трансформаторного перетворювача 3, який працює в комплекті з вторинним приладом КСД. Густиномір використовується для вимірювання густини молока, сироватки, розчинів кислот, лугів, солей та ін.

Вібраційний густиномір. Чутливими елементами вібраційних датчиків є трубки (циліндри або пластини), закріплені в нерухомих основах, які приводяться в автоколивальний режим руху системою збудження (рис. 7.2).

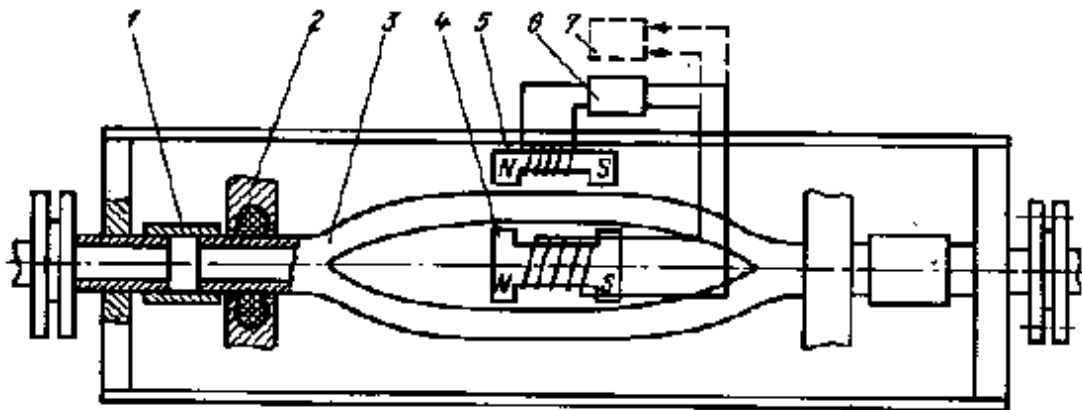


Рисунок 7.2 – Вібраційний густиномір

Принцип дії вібраційно-частотного густиноміра засновано на використанні залежності резонансної частоти проточного датчика від його маси, тобто від густини продукту, який його заповнює. Первинним перетворювачем таких густиномірів є механічний трубчастий камертон (резонатор), усередині якого рухається вимірювана рідина. Резонатор 3 являє собою здвоєну трубу, закріплену кінцями в нерухомій основі 2; рідина

підводиться до нього через еластичні елементи 1. За допомогою системи збудження він приводиться в режим поперечних автоколивань на власній резонансній частоті, яка визначається густиною рідини, яка в ній знаходиться. Система збудження складається зазвичай зі збудника 4 і приймача коливань 5, а також підсилювача 6. Сигнал на виході підсилювача у вигляді частоти змінного струму, пропорційний густині вимірюваної рідини, вимірюється цифровим приладом 7.

7.2 Вимірювання концентрації складу рідини

Потенціометричні концентратоміри (рН-метри). Дистильована вода дисоціює на іони водню H^+ та іони гідроксильного залишку OH^-



У нейтральному розчині концентрація іонів H^+ і OH^- є однаковою:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}. \quad (7.3)$$

Від'ємний десятковий логарифм концентрації водневих іонів називається водневим показником і позначається рН:

$$pH = -\lg[H^+] \quad (7.4)$$

Для нейтрального середовища (дистильована вода) $pH = 7$.

Зі збільшенням концентрації водневих іонів середовище набуває кислотних властивостей, а зі зменшенням – лужних. Для кислих середовищ $pH < 7$, а для лужних $pH > 7$.

Принцип дії рН-метрів заснований на залежності властивостей середовища від концентрації водневих іонів. На рис. 7.3 наведено вимірювальну схему рН-метра. У посудину з контрольованим середовищем 10 вміщується вимірювальний електрод 11. Він являє собою скляну пробірку, на кінці якої знаходиться кулька 9 зі спеціального літєвого скла. Усередині електрода знаходиться стержень 12 із бромистого срібла. Пробірка заповнюється розчином бромисто-водневої кислоти HBr і закривається пробкою 1. При опусканні електрода в контрольований розчин іони літію на поверхні кульки заміщуються на, іони водню з розчину і електрод набуває позитивного електричного потенціалу E_x тим більшого, чим більша концентрація іонів водню, тобто кислотність середовища. Для створення різниці електричних потенціалів використовується допоміжний хлорсрібний електрод 8.

Він являє собою скляну колбу, в якій знаходиться срібна спіраль 2. На кінці спіралі, виведеної з електрода, знаходиться клемка для приєднання

зовнішнього дроту. Електрод заповнюється розчином хлористого срібла AgCl і електрод закривається пористою пробкою 3. Під час хімічної взаємодії срібла з розчином AgCl , електрод набуває постійного електричного потенціалу E_n . Для замикання електричного кола служить електролітичний ключ 4, що являє собою посудину з трубкою 5, опущений у контрольований розчин. Трубка затикається пробкою 6, крізь яку пропущено тканичастий гніт 7. Ключ заповнюється розчином хлористого калію KCl . Електричний контакт між розчинами AgCl і KCl відбувається через пористу пробку (перегородка) 3, а між розчином KCl і контрольованим середовищем повільним (близько 4 мл/добу) перетіканням розчину KCl по гноту в контрольоване середовище. Як вимірювальний прилад використовується спеціальний мілівольтметр або перетворювач сигналу з високоомним входом, що підключається до клем вимірювального і допоміжного електродів. На вході у вимірювальний прилад формується зниження напруги $\Delta E = E_x - E_n = f(E_x)$, пропорційне потенціалу вимірювального електрода.

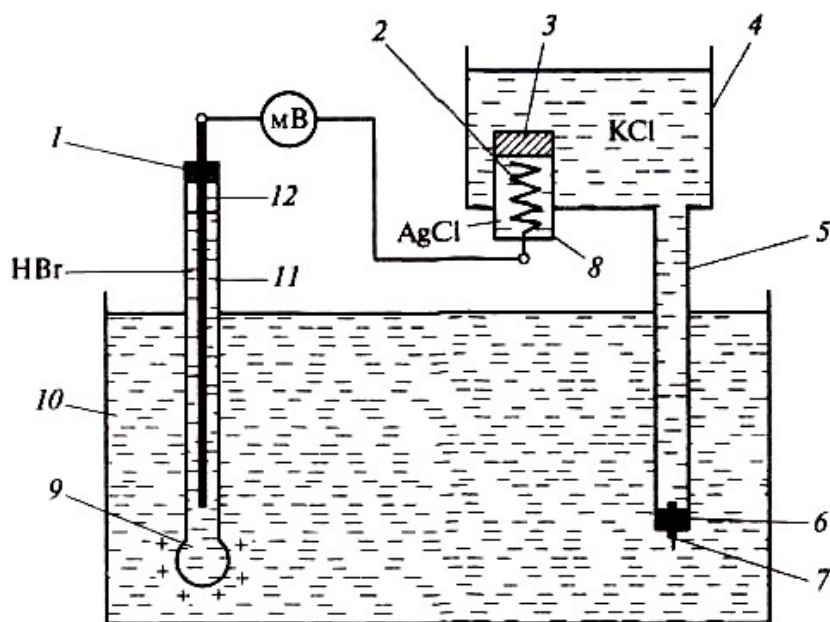


Рисунок 7.3 – Вимірювальна схема рН-метра

Прилади широко застосовуються для контролю кислотності (лужності) продуктів під час основних технологічних процесів харчових виробництв.

Кондуктометричні концентратоміри. Принцип дії засновано на залежності електричної провідності електроліту від його концентрації. Для водяних розчинів провідність зростає до концентрації приблизно 40%, що пояснюється збільшенням кількості носіїв електричних зарядів – іонів, а потім починає падати через вплив броунівського, хаотичного руху іонів. Прилади широко застосовуються для вимірювання концентрації мийних розчинів під час автоматизованого миття обладнання і трубопроводів.

На рис. 7.4 показана схема конструкції первинного перетворювача кондуктометричних концентратомірів КК-8 і КК-9, призначених для

вимірювання концентрації чистих і забруднених водяних розчинів кислот, солей і лугів. Первинний перетворювач приладів є безконтактним індукційного типу, проточним або заглибного виконання. Чутлива частина перетворювача складається з двох тороїдальних трансформаторів – силового 5 і вимірювального 6, розділених електростатичним екраном, і вбудованого термістора для температурної компенсації. Вимірювальний трансформатор має дві обмотки – вимірювальну й компенсаційну. Чутлива частина первинного перетворювача вміщена в корпус 4 з поліпропілену і закрита заглушкою 7, привареною до корпусу. Первинний перетворювач залитого виконання кріпиться до штанги 3, закріпленої на фланці 2, у якому розміщена клемна коробка 1. Первинний перетворювач проточного виконання вміщено у спеціальний корпус із фланцями для установлення в трубопроводі. Принцип дії приладу полягає в безконтактному вимірюванні опору рідинного контура зв'язку, що електрично зв'язує обидва тороїдальних трансформатори первинного перетворювача.

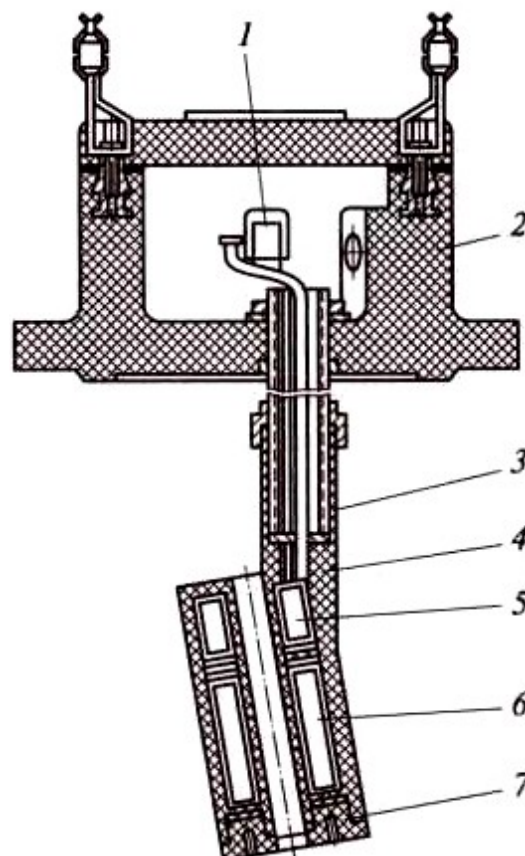


Рисунок 7.4 – Конструкція первинного перетворювача кондуктометричного концентратора

Напруга з вимірювальної обмотки подається на підсилювач ЕУ і приводить в обертання реверсивний двигун РД. Двигун переміщує за шкалою стрілку приладу і движок реохорда R_p , який включений у компенсаційну схему. При повній компенсації магнітних потоків, що створюються рідинним контуром зв'язку та компенсаційною обмоткою ІІ, напруга, що подається на

вхід підсилювача, стане рівною нулю, і обертання вала реверсивного двигуна припиниться. У вимірвальній схемі приладу передбачено температурну компенсацію, яка здійснюється терморезистором R_1 , вміщеним у чутливій частині первинного перетворювача, і підлаштування опором елементом R_2 . Для настроювання шкали на різні межі вимірювання служать змінні опору початку і кінця шкали – R_3 і R_4 , для зміни діапазону вимірювання на один порядок – опір R_5 .

Оптичні концентратоміри. Ці прилади поділяються на фотоелектричні рефрактометри, нефелометри та ін.

У *рефрактометрі заломлення* (рис. 7.5) потік світла від джерела EL проходить через конденсор 1 (спеціальна лінза), який формує його в паралельний вигляд. Потім з потоку діафрагмою 2 виділяється вузький промінь, який проходить крізь прозору кювету 3 , розділену прозорою перегородкою на два відсіки. В одному знаходиться середовище еталонного складу, а через інший прокачується контрольоване середовище. Після кювети промінь проходить крізь прозору коригувальну призму 4 , поворот якої викликає зміну напрямку променя після неї. За призмою промінь падає на фотоеlementи ΦE_1 і ΦE_2 . Фотоеlementи включені зустрічно і підключені до електронного підсилювача $ЕУ$, вихід якого пов'язаний із реверсивним двигуном $РД$, вал якого механічно пов'язаний із коригувальною призмою 4 і вказівною стрілкою 5 . Якщо склад контрольованого середовища відповідає еталонному, то промінь не заломлюється під час проходження крізь кювету 3 і падає на межу між ΦE_1 і ΦE_2 . Їх освітленості будуть однакові, а сигнал на $ЕУ$ дорівнює нулю.

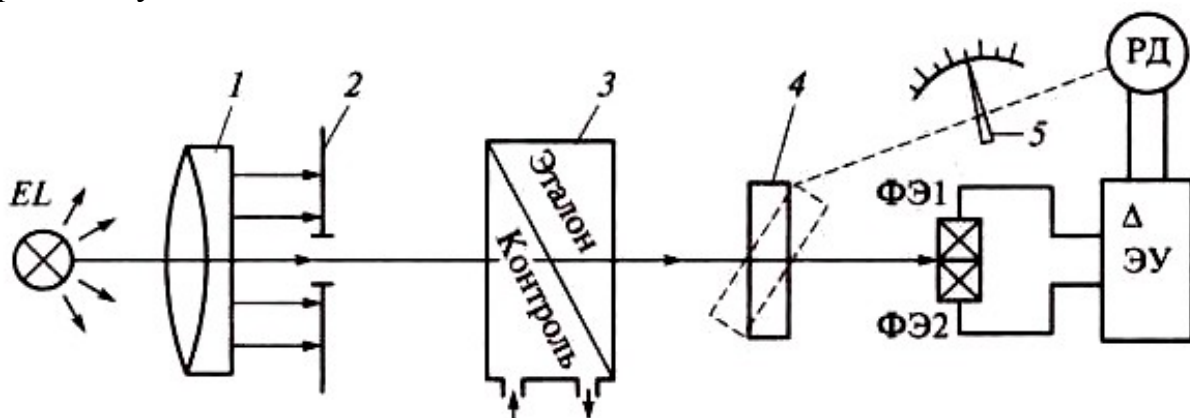


Рисунок 7.5 – Схема рефрактометра заломлення

Зі зміною складу контрольованого середовища відбувається заломлення променя в кюветі і його напрямок змінюється у бік ΦE_1 або ΦE_2 . Їх освітленості стають різними і на вході $ЕУ$ з'являється електричний сигнал, який передається на $РД$. Його вал починає обертатися, переміщаючи вказівну стрілку за шкалою і повертаючи коригувальну призму. При цьому буде змінюватися напрям променя після неї. Реверсивний двигун буде працювати доти, доки промінь знову не падатиме на межу між ΦE_1 і ΦE_2 . Рефрактометри застосовують для контролю складу і концентрації рідких прозорих середовищ.

7.3. Вимірювання в'язкості рідини

В'язкість – важлива характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції в багатьох технологічних процесах (різні пасти, креми, тісто, фарші та ін.). В'язкістю називається величина внутрішнього тертя, яке виникає зі зміщенням одного шару рідини відносно іншого. Розрізняють динамічну та кінематичну в'язкості, пов'язані між собою відношенням

$$\eta = \rho \nu \quad (7.5)$$

де η – динамічна в'язкість, Па·с; ν – кінематична в'язкість, м²/с; ρ – густина, кг/м³.

Для вимірювання в'язкості застосовують віскозиметри, які залежно від принципу дії підрозділяються на капілярні, шарикові та ротаційні.

Дія капілярних віскозиметрів ґрунтується на залежності часу протікання відомої кількості рідини крізь вузьку трубку від її в'язкості. При цьому параметри потоку рідини (витрата, перепад тиску) залежать від динамічної в'язкості

$$Q = (\pi d^4 / 128 \eta l) \Delta p, \quad (7.6)$$

де Q – об'ємна витрата рідини, що витікає з трубки, м³/с; d – діаметр трубки, м; η – динамічна в'язкість рідини, Па·с; l – довжина трубки, м; Δp – різниця тисків між кінцями трубки, Па.

У цьому віскозиметрі (рис. 7.6) постійність витрати забезпечує шестеренний насос 1. Рідина проходить крізь капілярну трубку 3 діаметром d і довжиною l . Різниця тисків між входом і виходом трубки вимірюється дифманометром 2. Діапазон вимірювань становить від 0,001 до 10 Па·с.

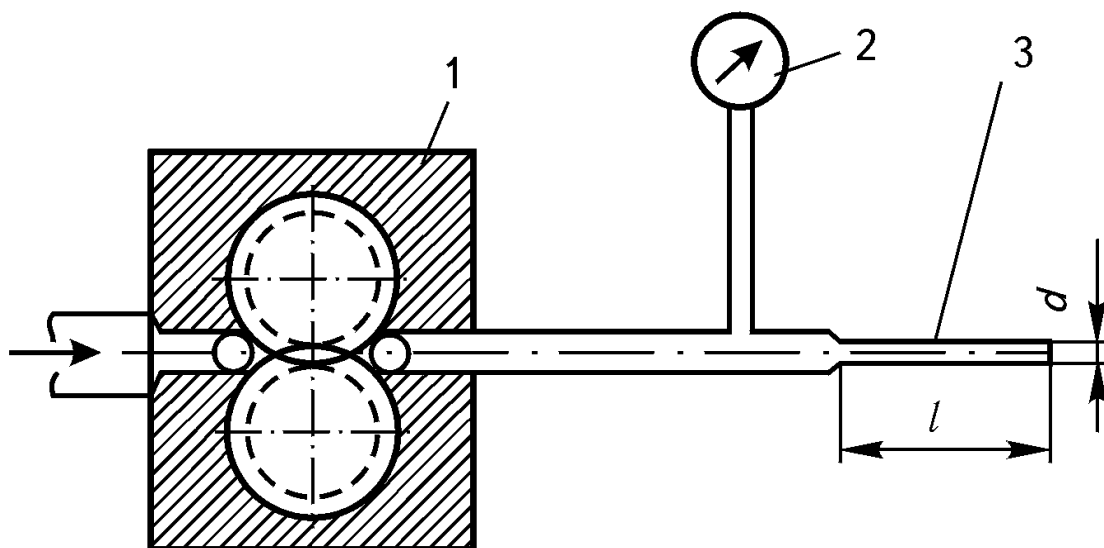


Рисунок. 7.6 – Капілярний віскозиметр

Принцип дії шарикового віскозиметра засновано на залежності швидкості падіння кульки в рідині від її в'язкості. При цьому автоматично вимірюється час проходження кулькою, що падає, відстані між позначками на трубці. Діапазон вимірювання становить до 100 Па·с.

Принцип дії ротаційного віскозиметра засновано на визначенні протидіючого обертового моменту, що виникає під час обертання тіла у в'язкій рідині.

Віскозиметр із коаксіальними циліндрами (рис. 7.7) складається з двох циліндрів, між якими розміщується рідина, що аналізується. Зовнішній циліндр 1 нерухомий, внутрішній 2 закріплюється на осі, яка обертається за допомогою електродвигуна. Крутний момент залежить від швидкості обертання циліндра в рідині, що аналізується, та пропорційний в'язкості. Діапазон вимірювання становить 10^{-2} – 10^4 Па·с.

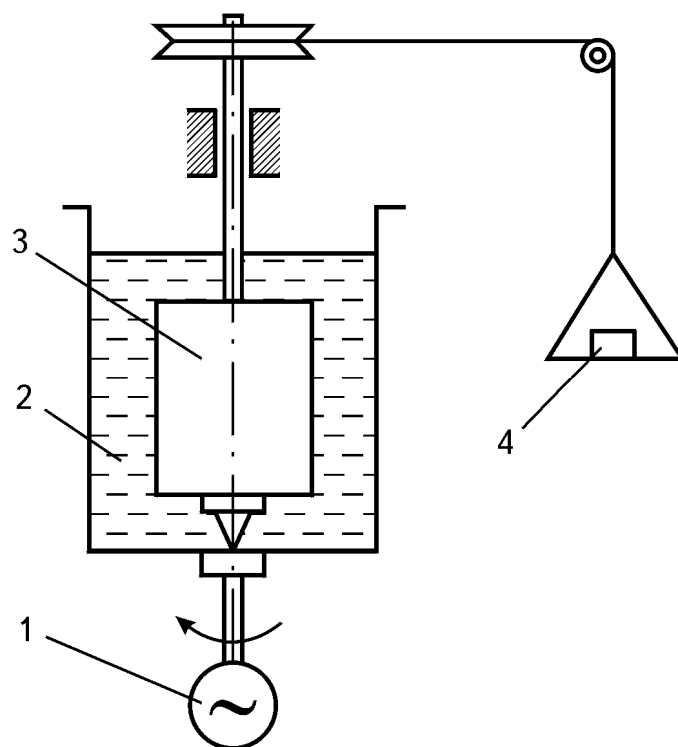


Рисунок 7.7 – Ротаційний віскозиметр із коаксіальними циліндрами

В'язкість значною мірою залежить від температури. Під час вимірювання в'язкості необхідно враховувати температуру середовища, що контролюється.

7.4. Вимірювання вологості

Вологість повітря, газу, твердих та сипких матеріалів необхідно контролювати в ході різних технологічних процесів, а також під час зберігання продуктів у складських приміщеннях та холодильних камерах.

Вологість повітря – це вміст у ньому водяної пари; за абсолютну вологість беруть масу води в одиниці об'єму вологого або сухого газу (г/м³);

відносною вологістю називається відношення абсолютної вологості до максимально можливої за певної температури. Виражається вона у відносних одиницях або відсотках.

Вимірювання вологості повітря та газу проводиться в основному психрометричними, сорбційними методами та за точкою роси.

Принцип дії психрометрів ґрунтується на залежності швидкості випаровування вологи від вологості навколишнього середовища. Вимірювання здійснюється двома термометрами, один з яких (мокрый) розміщено в постійно змочуваному чохлах. Його температура залежить від ступеня випаровування вологи з поверхні чохла і буде тим менша, чим менша вологість вимірюваного середовища. За різницею температур між сухим та мокрим термометрами визначається величина відносної вологості.

Психрометричний метод покладено в основу побудови низки автоматичних приладів для вимірювання вологості повітря та газу.

Вимірювальна схема приладу (рис. 7.8) складається з двох мостів *I* і *II*, для яких плечі R_1 й R_2 спільні. У плече одного моста вбудовано «сухий» термометр R_{tc} , а в плече другого – «вологий» R_{tb} . Живляться мости від загального джерела живлення $U_{ж}$. У вимірювальній діагоналі ab моста *I* виникає різниця потенціалів, пропорційна температурі «сухого» термометра R_{tc} , а в діагоналі ac моста *II* – температурі «вологого» R_{tb} . Через те, що температура «сухого» термометра завжди більша за температуру «вологого», сигнал $U_{ab} > U_{ac}$. Їх різниця $\Delta U = U_{ab} - U_{ac}$ подається на вхід підсилювача *ЕП*, підсилюється та управляє рухом реверсійного двигуна *РД*. *РД* переміщує повзун реохорда R_p доти, доки не настане рівновага системи. Шкала вимірювального приладу градується у відсотках відносної вологості.

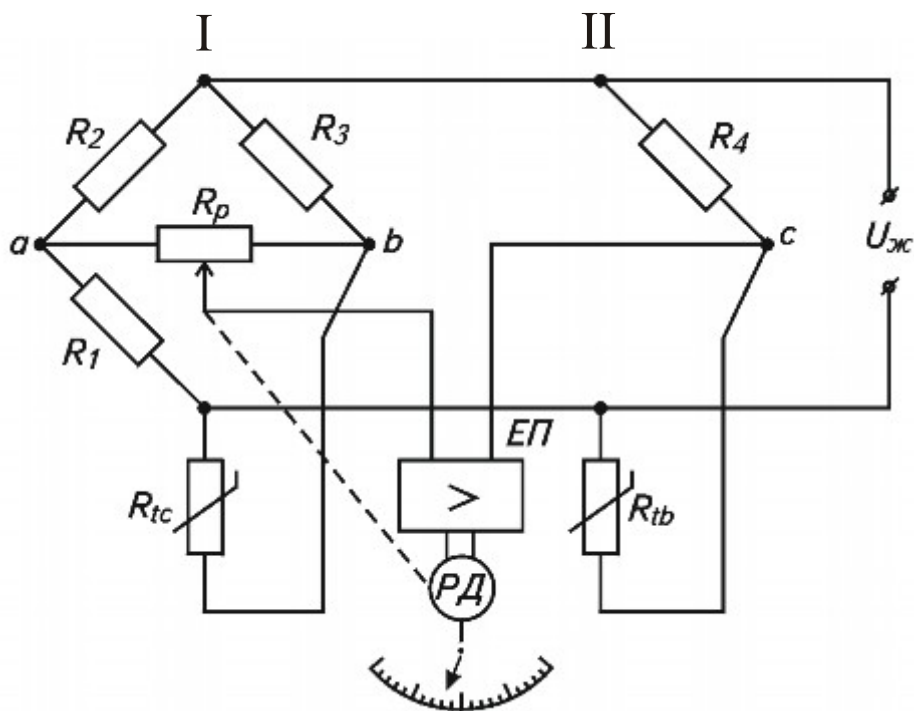


Рисунок 7.8 – Схема автоматичного психрометра

Вміст води в твердих та сипких матеріалах характеризується вологовмістом U та вологістю W .

Вологовміст – відношення маси води M у матеріалі до маси абсолютно сухого матеріалу M_o : $U=M/M_o$.

Вологість – відношення маси води M у матеріалі до маси вологого матеріалу M_v : $W=M/M_v=M/(M_o+M)$.

Для вимірювання вологості твердих та сипких матеріалів у лабораторії застосовують ваговий метод, оснований на зважуванні проби до та після висушування до постійної маси. Метод дуже простий і точний, але потребує багато часу.

Для автоматичного контролю та управління технологічними процесами використовуються кондуктометричні, ємнісні вологоміри та ін. В основу принципу дії кондуктометричних вологомірів покладено залежність електричного опору від вмісту води. Чутливим елементом вологомірів є два електроди, конструктивно виконані у формі пластин, циліндричних трубок та ін., а вимірювальним пристроєм – автоматичний міст опору.

Розділ 8. Управляючі та регулювальні пристрої автоматичних систем регулювання та управління

8.1. Функціональні елементи автоматичних регуляторів

Разом із вимірювальним пристроєм до складу автоматичної системи регулювання, окрім об'єкта регулювання (ОР), входять інші функціональні елементи, серед яких найважливішим є автоматичний регулятор (АР), виконавчий механізм (ВМ) та регулювальний орган (РО).

Автоматичний регулятор – це пристрій, який формує сигнал управляючої дії згідно з алгоритмом управління та підсилює його до значень, необхідних для управління виконавчим механізмом.

Залежно від джерела енергії, яке використовується для управління, виділяють регулятори прямої та непрямої дії. У регуляторах *прямої дії* для забезпечення їх роботи застосовується енергія об'єкта регулювання. До таких регуляторів належать пристрої для стабілізації температури в тепловому торговельно-технологічному устаткуванні, наприклад температурне реле Т-32 (див. рис. 4.2); для регулювання рівня води – поплавковий рівнемір у кип'ятильниках безперервної дії (див. рис. 6.1).

Для стабілізації тиску пари в паропроводах широко застосовується регулятор тиску прямої дії «після себе» (рис. 8.1). Зі збільшенням тиску в паропроводі після регулятора мембрана 1 прогинається донизу і переміщує шток із клапаном 3, зменшуючи приплив пари. Задане значення тиску встановлюється пружиною 2.

Регулятори прямої дії мають просту конструкцію, але не забезпечують високої точності регулювання.

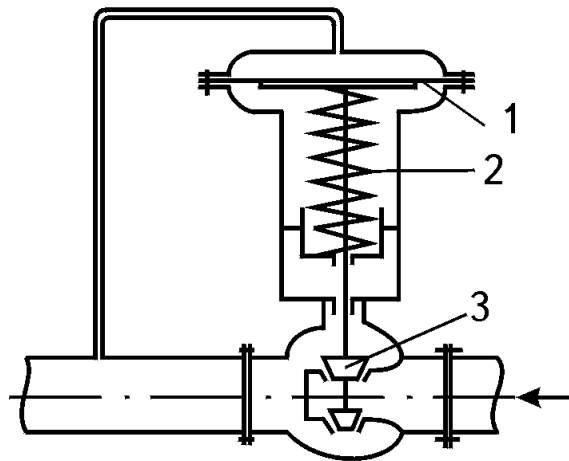


Рисунок 8.1 – Регулятор тиску прямої дії

У регуляторах *непрямої дії* використовується енергія від допоміжного джерела, що дозволяє підвищити точність та швидкість регулювання. За видом допоміжної енергії регулятори непрямої дії поділяються на *електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані*. У харчових виробництвах застосовуються переважно електричні та пневматичні регулятори.

Електричні регулятори мають широку галузь застосування завдяки великій швидкості передавання сигналу на значні відстані, малим габаритам, уніфікації елементів. Вони не потребують спеціальних джерел енергії. Недоліком електричних засобів автоматизації є більша складність і менша надійність порівняно з пневмоавтоматичними.

Пневматичні регулятори пожежо- та вибухобезпечні, прості, надійні, досить корозієстійкі, що важливо в приміщеннях із підвищеною вологістю. Проте для роботи пневматичних регуляторів потрібні спеціальні джерела живлення (компресори), бо регулятори досить інерційні.

Регулятори непрямої дії складаються з декількох елементів, основними з яких є підсилювачі та інші допоміжні блоки, які забезпечують формування регулювальної дії згідно з алгоритмом управління.

Підсилювачем називають елемент, вхідна та вихідна величини якого мають однакову фізичну природу, призначений для кількісного перетворення (підсилення) вхідної величини. Зміна вихідного сигналу пристрою порівняно з вхідним відбувається за рахунок допоміжної енергії тієї ж самої фізичної природи від допоміжного джерела. Залежно від застосованої енергії підсилювачі поділяються на механічні, гідравлічні, пневматичні, електронні, магнітні та інші.

У автоматичних регуляторах широко застосовуються реле. Реле – це пристрій, у якому вихідна величина y стрибкоподібно змінюється з досягненням вхідної величини x певного значення. Статичну характеристику реле наведено на рис. 8.2. Зі зміною вхідної величини x від 0 до x_2 вихідна величина залишається постійною і дорівнює y_1 . Коли вхідна величина досягає значення x_2 , вихідна величина стрибком змінюється від y_1 до y_2 . Із подальшим

збільшенням x вихідна величина y не змінюється і дорівнює y_2 . Зі зменшенням вхідної величини до $x=x_1$, значення вихідної величини y стрибком зменшується від y_2 до y_1 . Відношення $k_B=x_1/x_2<1$ називають коефіцієнтом відпускання реле.

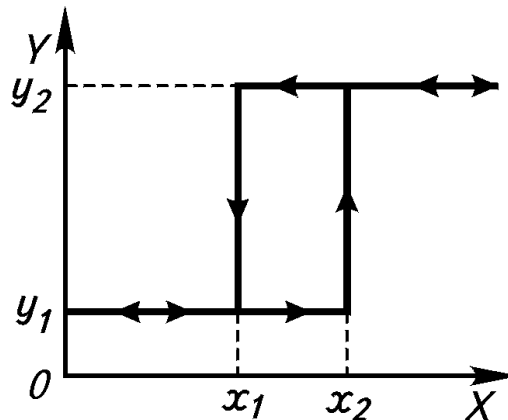


Рисунок 8.2 – Статична характеристика реле

Оскільки за природою, характером зміни та потужністю вхідна й вихідна величини різні, реле є перетворювачем та підсилювачем сигналів. Залежно від природи вхідної величини розрізняють електромагнітні, пневматичні, гідравлічні, теплові, фотореле, реле часу та ін. Найбільш поширені електромагнітні реле.

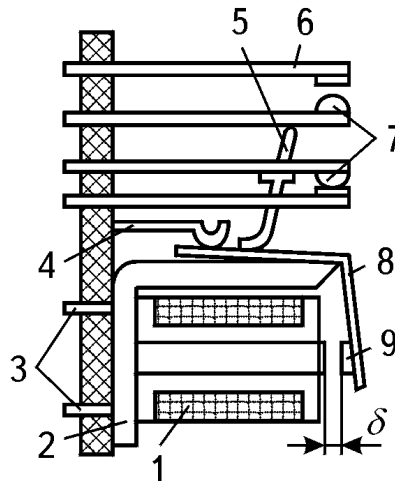


Рисунок 8.3 – Схема нейтрального електромагнітного реле

Схему нейтрального електромагнітного реле постійного струму показано на рис. 8.3. Під час проходження струму по котушці 1 у магнітопроводі, що складається з осердя 10 та якоря 9 виникає магнітний потік; якорь притягується до осердя, контактна група 7, 8 розмикається (розмикальний контакт), а контактна група 6, 7 замикається (замикальний контакт). Коли котушка знеструмлена, якорь відтягується пружиною 8. Сила притягання якоря F_n дорівнює

$$Fn = k(I\omega)^2 dG/d\delta, \quad (8.1)$$

де k – сталий коефіцієнт; I – струм у котушці; ω – кількість витків котушки; G – магнітна провідність зазору між якорем та котушкою; δ – зазор.

Це реле є нечутливим до полярності струму, оскільки сила притягання якоря залежить від квадрата струму I^2 , тому його називають *нейтральним*.

Часто виникає потреба живити реле від мережі змінного струму. Якщо увімкнути котушку реле постійного струму в коло змінного струму, якір і контакти реле вібруватимуть, оскільки два рази за період струм дорівнюватиме нулю. Для усунення вібрації частину осердя в поперечному перерізі охоплюють короткозамкненим витком із міді. При цьому в магнітному колі діятимуть два потоки – основний і сформований короткозамкненим витком. Останній буде відставати за фазою від основного потоку, результуючий потік не дорівнюватиме нулю, і вібрація якоря припиниться.

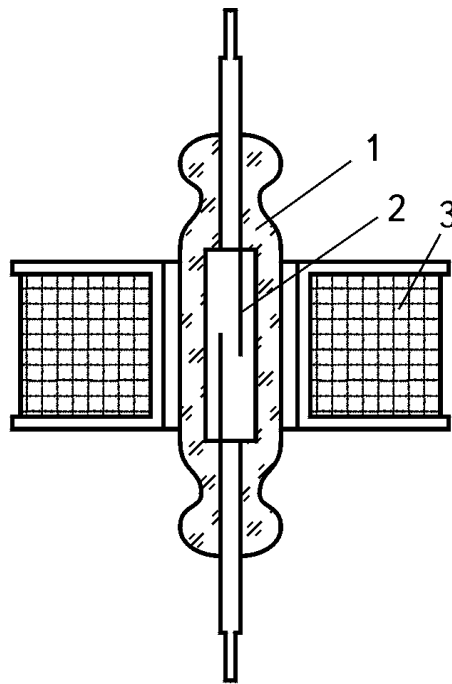


Рисунок 8.4 – Геркон

До електромагнітних реле постійного струму належать також геркони. *Геркони* – це без'якірні малогабаритні реле з магнітокерованими герметизованими контактами. Геркон (рис. 8.4) становить собою скляний балон 1, усередині якого містяться контактні пружини 2, виготовлені з феромагнітного матеріалу. Зовні скляного балона розміщено котушку 3, яка створює магнітне поле. Якщо контактні пружини намагнічуються різнойменно, вони притягуються одна до одної, якщо однойменно, то відштовхуються. Поверхні контактування пластин покривають тонким шаром добре провідних металів (срібло, золото). Герметизація запобігає шкідливому впливу

навколишнього середовища на контакти. Усе це забезпечує високу надійність та швидкодію приладу.

8.2. Агрегатні комплекси технічних засобів автоматизації

Для автоматизації технологічних процесів застосовується велика номенклатура технічних засобів автоматизації, які потребують відповідного технічного обслуговування. Ця проблема в ДСП вирішується шляхом агрегування, що дозволяє забезпечити будівництво складних пристроїв та систем шляхом набору більш простих уніфікованих модулів. До складу агрегатних комплексів входять системи та прилади, блоки та пристрої, що є конструктивно завершеними виробами; їх можна застосовувати самостійно.

До складу агрегатного комплексу електричних аналогових засобів контролю та регулювання «Каскад» входять групи вимірювальних, логічних, нелінійних та регулювальних блоків, підсилювальних, задавальних та допоміжних пристроїв, а також динамічних перетворювачів. Усі блоки мають уніфіковану конструкцію. Зв'язок між датчиками регульованих параметрів та блоками комплексу здійснюється за допомогою уніфікованого струмового сигналу 0–5, 0–20, 4–20 мА та 0–10 В.

Агрегатний комплекс електричних засобів регулювання (АКЕЗР) із сигналом зв'язку постійного струму на інтегральних мікросхемах призначається для будівництва різноманітних АСР, можливе також застосування управляючих обчислювальних машин (УОМ). До складу АКЕЗР входять три основних групи технічних засобів: регулювальні й функціональні пристрої та виносні задавачі з блоками управління. Дві перші групи застосовуються для перетворення уніфікованих сигналів від вимірювальних перетворювачів та формування управляючих сигналів в аналоговій або дискретній формах для передавання їх до виконавчих пристроїв. Третя група пристроїв призначена для ручного встановлення завдань блокам та ручного дистанційного управління.

Агрегатний комплекс пневматичних регулювальних пристроїв «Старт» збудовано на базі універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА). До складу комплексу входять декілька типів регуляторів, функціональних блоків, а також вторинні прилади. За допомогою технічних засобів комплексу можна складати нескладні системи регулювання. Пристрої системи «Старт» призначаються для використання в пожежо-вибухонебезпечних умовах, у приміщеннях з агресивним середовищем та складними умовами експлуатації.

8.3. Виконавчі механізми та регулювальні органи

Виконавчі механізми (ВМ) здійснюють переміщення регульовального органу за сигналом, що подається від регулятора. Залежно від застосованої енергії на переміщення регульовального органу ВМ поділяють на електричні, пневматичні та гідравлічні. Отже, ВМ є підсилювачем потужності. Кожен ВМ

повинен мати органи ручного управління, блокувальні пристрої, показчик положення пересувного елемента, пристрій для гальмування. Електричні ВМ працюють у комплекті з електричним регулятором і поділяються на електродвигунові та електромагнітні. Електродвигунові ВМ поділяються на однооборотні, вихідний вал яких має кут обертання від 15 до 360°, та багатооборотні, у яких вихідний вал обертається під кутом більше 360°.

Електродвигуновий ВМ (рис. 8.5) складається з електродвигуна 3 з електромагнітним гальмом 4, блока 5 із кінцевими вимикачами, черв'ячного редуктора 2 та вихідного вала редуктора 1, який з'єднується з регулюючим органом. Запуск двигуна в той чи інший бік обертання забезпечується контактами *1РБ* або *2РБ* реле автоматичного регулятора. При цьому вмикаються обмотки *В* або *Н* реверсивного магнітного пускача і замикаються його силові контакти *В0* або *Н0*, які включають у мережу електродвигун *Д*. Блок-контакти *В1* та *Н1* шунтують контакти регулятора. Двигун вимикається, коли вихідний вал редуктора досягає крайніх положень, кінцевими вимикачами *КВВ* та *КВЗ*, при цьому загорається одна з сигнальних ламп відповідно *ЛВ* або *ЛЗ*. Кнопка *КС* призначається для аварійного вимикання двигуна.

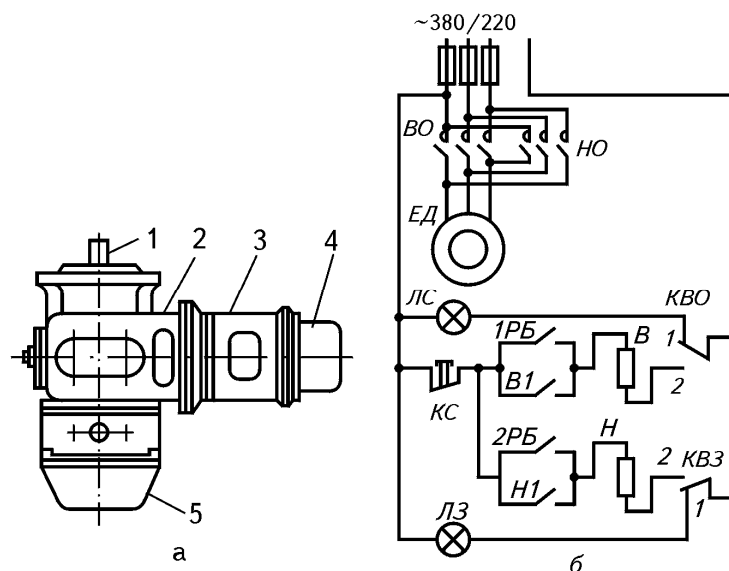


Рисунок 8.5 – Електродвигуновий виконавчий механізм:
а – загальний вигляд; б – електрична схема вмикання

Електромагнітні ВМ складаються з електромагніту постійного або змінного струму, якір якого керує відкриттям та закриттям регульовального органу. Під час подавання струму до обмотки електромагніту якір утягується і клапан відкривається.

Пневматичні ВМ поділяються на мембранні й поршневі та призначаються для роботи з пневматичними регуляторами. Мембранний виконавчий механізм (рис. 8.6) складається з корпусу 1, мембрани 2, зворотної пружини 3 та штока 4. Втулка з натяжною гайкою 5 призначена для регулювання зусилля, що надається пружиною. Із поданням тиску від регулятора у надмембранну

порожнину мембрана вигинається і переміщує шток. Повернення штока в початкове положення забезпечується за допомогою пружини при $p_{вх}=0$.

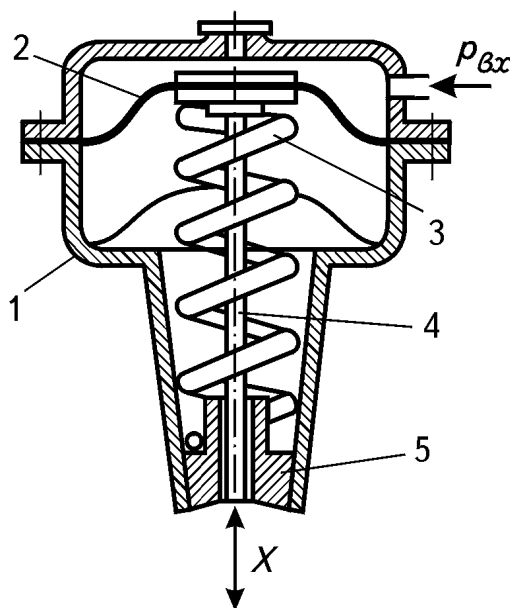


Рисунок 8.6 – Мембранний виконавчий механізм

Регулювальні органи (РО) призначено для зміни витрат матеріальних або енергетичних потоків об'єкта регулювання. Найчастіше в технологічних процесах застосовуються дросельні РО, які керують витратою потоків шляхом зміни діаметра прохідного перетину. Вони призначені для зміни витрат рідини, газу та пари. Дросельні РО поділяються на регулювальні клапани, заслінки та шибер.

Регулювальні органи характеризуються пропускною здатністю. Пропускна здатність K_v – це витрата рідини густиною 1000 кг/м^3 , що проходить крізь регулювальний орган під час перепаду тиску на ньому, що дорівнює $0,1 \text{ МПа}$. Залежність пропускної здатності регулювального органу від переміщення затвора l із постійним перепадом тиску $K_v = f(l)$ називається пропускною характеристикою. Регулювальні клапани випускаються серійно з діаметром умовного проходу $D_y=6\ldots400 \text{ мм}$.

Односідельний регулювальний клапан (рис. 8.7) складається з корпусу 7 із сідлом 1, штока 4 із затвором 3, який має профільну поверхню 2, сальника 6 із підтискним фланцем 5. Зміна пропускної здатності клапана відбувається під час переміщення затвора 3 уздовж осі руху сідла клапана.

Регулювання витрат повітря та газів здійснюється за допомогою шиберів або заслінок. Шибер – це прямокутна або фігурна пластина, що переміщується перпендикулярно до осі трубопроводу, змінюючи його прохідний перетин. Заслінки виготовляються у формі лопатей, які розміщують у трубопроводі. Зміна живого перерізу потоку здійснюється поворотом лопаті від виконавчого механізму.

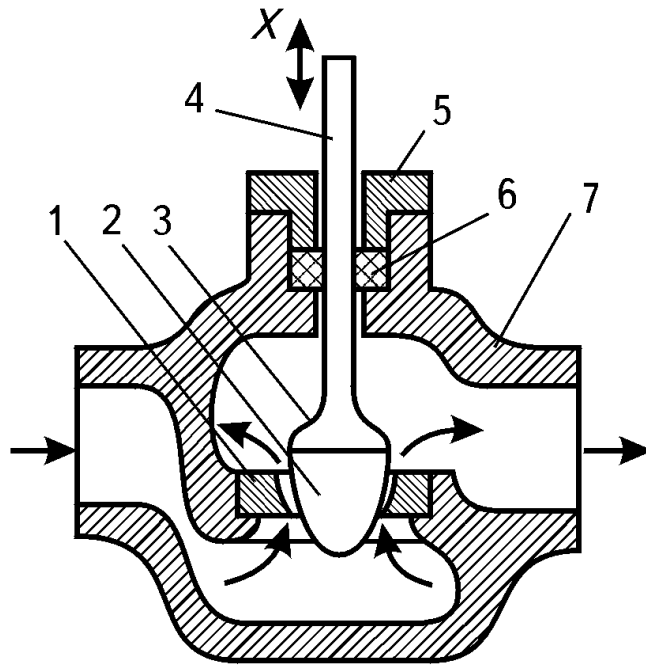


Рисунок 8.7 – Односідельний регулювальний клапан

8.4. Мікропроцесорні засоби автоматизації

Технічною базою сучасних систем управління технічними процесами є мікропроцесорні пристрої та ЕОМ.

Мікропроцесор – це програмно-керувальний пристрій, призначений для обробки цифрової інформації та керування процесом цієї обробки, що працює на одній або кількох інтегральних схемах. Для виконання завдань зі збору та обробки інформації й керування об'єктом необхідно утворити мікропроцесорну систему (рис. 8.8), центральну частину якої займає мікропроцесор, а також запам'ятовувальний пристрій (ЗП), пристрій вводу-виводу (ПВВ) та низка інших пристроїв. Інформація призначена для обробки в мікропроцесорній системі (МПС), має бути подана в цифровій формі, необхідній для введення в МПС. Тому зі створенням на базі МПС автоматичної системи до її складу необхідно включити пристрої для зв'язку з об'єктом управління (ПЗО).

Завданням ПЗО є автоматичне перетворення інформації від датчиків, установлених на об'єктах управління (ОУ), а також зворотне завдання з перетворення управляючих сигналів, що виробляються МПС, у форму, необхідну для керування виконавчими механізмами, установленими на об'єкті управління. На рис. 8.9 наведено структурну схему універсального мікропроцесора.

Він має такі основні функціональні елементи: арифметично-логічний пристрій (АЛП), пристрій управління (ПУ) і блок регістрів (БРг).

Арифметично-логічний пристрій здійснює за командою з пристрою управління арифметичні та логічні операції.

Пристрій управління (ПУ) керує роботою АЛП і БРг. ПУ робить вибірку команд за послідовністю, яка визначається програмою, дешифрує та обробляє

їх, виробляє необхідну послідовність керівних сигналів, призначену для управління та синхронізації як внутрішніми елементами МП (АЛП і БРГ), так і для зв'язку із зовнішніми пристроями.

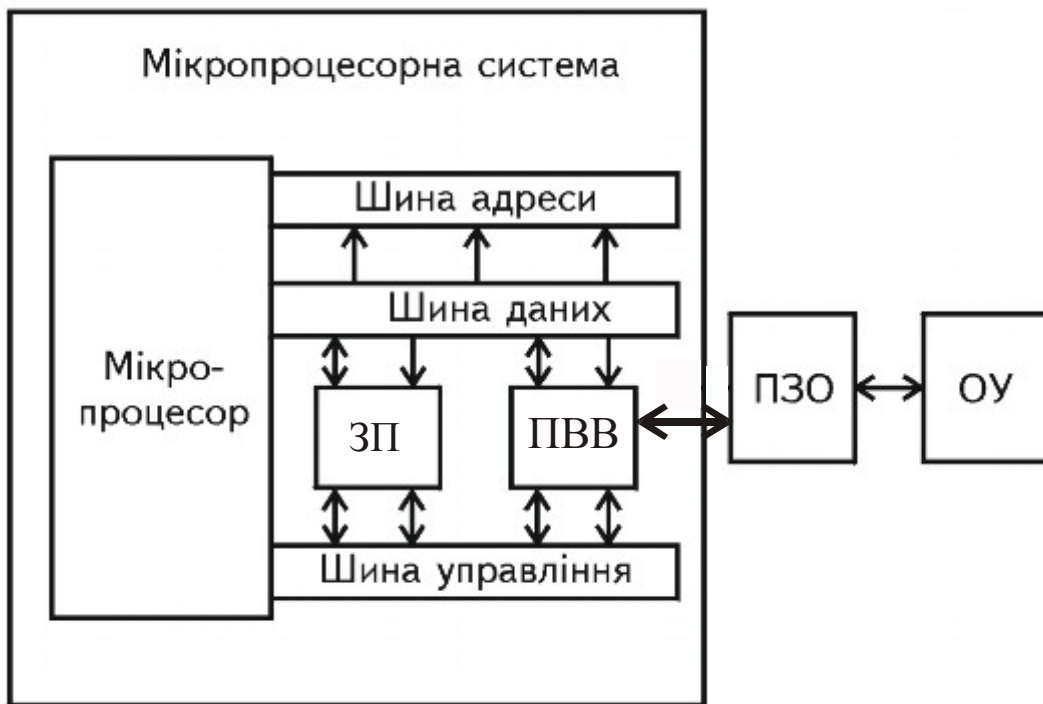


Рисунок 8.8 – Структура мікропроцесорних систем

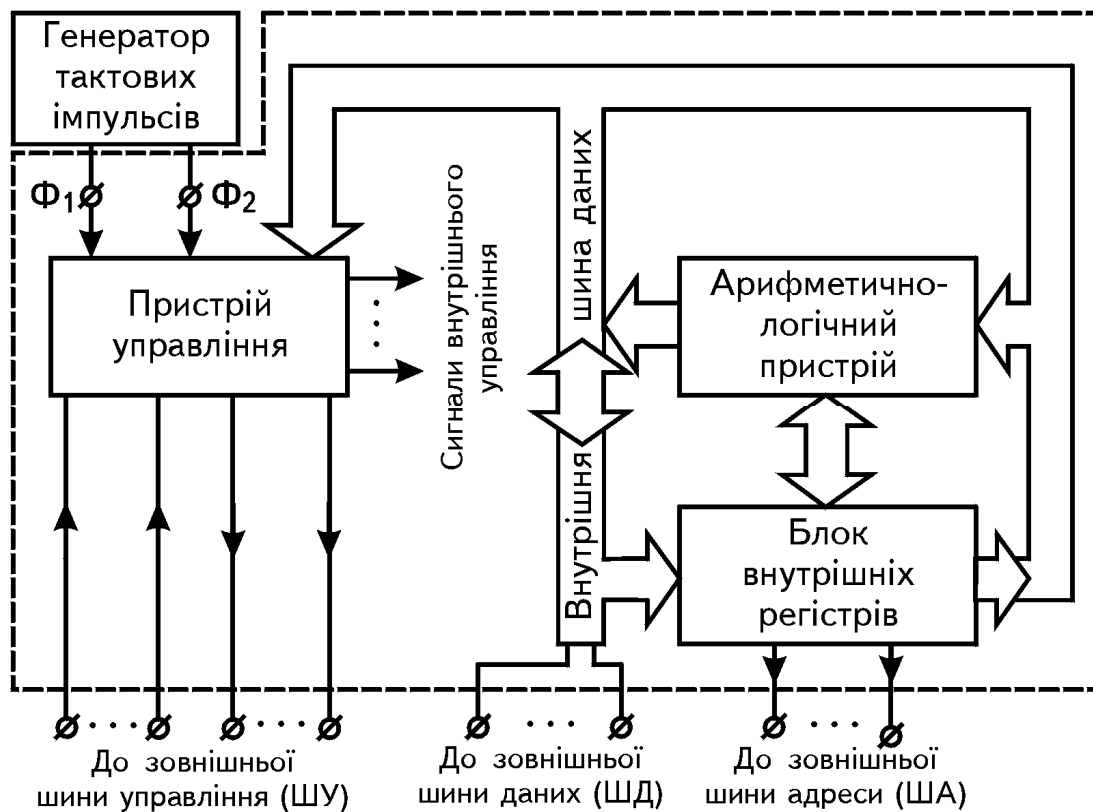


Рисунок 8.9 – Структурна схема універсального мікропроцесора

Блок реєстрів (БРг) є внутрішньою пам'яттю МП і використовується для тимчасового зберігання інформації, що обробляється мікропроцесором. Окремі частини МП з'єднуються між собою за допомогою внутрішньої шини даних, яка є каналом передавання інформації. Для зв'язку із зовнішніми пристроями існують зовнішні шини: управління (ШУ), адресна (ША) та даних (ШД).

У системах автоматизації технологічних процесів мікропроцесори застосовуються як засоби управління в складі програмованих контролерів.

Мікропроцесорний контролер має такі елементи (рис. 8.10): процесор; оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП); постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП); пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО), який забезпечує перетворення вхідних сигналів у цифрову форму та зворотно – у вихідний сигнал; пристрій індикації та зв'язку з оператором (ПІ); спеціалізоване програмне забезпечення (СПЗ). Ці елементи виконуються у вигляді модулів і об'єднуються внутрішньою паралельною шиною.

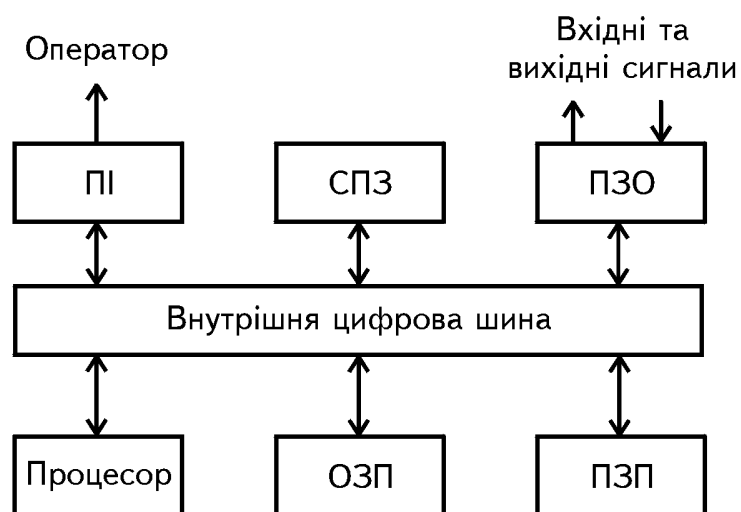


Рисунок 8.10 – Структурна схема реміконта

Існує ряд мікропроцесорних контролерів. Реміконт – це компактний багатофункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання та логічного управління технологічними процесами. Реміконт є багатоканальним пристроєм і може замінити кілька десятків аналогічних регуляторів. Для програмування реміконта не потрібен програміст, це завдання виконує експлуатаційний персонал, пов'язаний з обслуговуванням звичайної аналогічної апаратури. Для налаштування контролера використовується спеціалізована клавішна панель, за допомогою якої наладчик визначає алгоритми управління, конфігурацію управляючого контура, параметри статичної та динамічної настройки, а також установлює сигнали завдання і режими управління. Реміконт формує закони регулювання, виконує підсумовування, диференціювання, селектування, перемикавання та інші перетворення аналогових сигналів, а також обробляє та формує дискретні сигнали управління. При цьому оператор має можливість безпосередньо на

місці експлуатації вручну переключати та змінювати контури регулювання й режими управління. Робочі програми контролера виконано у вигляді блоків, кожен з яких реалізує один з алгоритмів управління. Набір таких алгоритмічних блоків створює бібліотеку робочих програм, і оператор має можливість вибору потрібної програми та її одноразового або багаторазового використання.

Датчики і виконавчі механізми підключаються до реміонта за допомогою звичайних кабельних з'єднань, якими передається аналогова та дискретна інформація. Сигнали, що подаються на реміонт, обробляються в цифровій формі.

8.5. Мікропроцесорний регулятор «МІКРОЛ»

Регулятори «МІКРОЛ» (МІК) являють собою новий клас сучасних цифрових регуляторів безперервної дії з аналоговим, імпульсним або двопозиційним виходом. Вони застосовуються для керування технологічними процесами в промисловості. Регулятор МІК забезпечує високу точність підтримування значення вимірюваного параметра. Відмінною рисою цього регулятора є наявність трирівневої гальванічної ізоляції між входами, виходами й ланцюгом живлення. Регулятор призначено як для автономного, так і для комплексного використання в АСУ ТП в енергетиці, металургії, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості й агропромислового комплексу.

Регулятор МІК призначається:

- для вимірювання контрольованого вхідного фізичного параметра (температура, тиск, витрата, рівень та ін.), обробки, перетворення й відображення його поточного значення на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі;

- для формування вихідного аналогового або імпульсного сигналу управління зовнішнім виконавчим механізмом, із забезпеченням аналогового, імпульсного або позиційного регулювання вхідного параметра за П, ПІ, ПД або ПІД законом відповідно до заданого користувачем логікою роботи й параметрами регулювання.

Структуру регулятора МІК за допомогою конфігурації можна змінити таким чином, що можуть бути вирішені такі завдання регулювання:

Внутрішня програмна пам'ять регулятора МІК містить велику кількість стандартних функцій, необхідних для керування технологічними процесами більшості інженерних прикладних завдань, зокрема, таких:

- можливість підключення різних типів датчиків;
- порівняння результату перетворення з налаштуванням «мінімум» і «максимум», а також сигналізацію відхилень (технологічно небезпечних зон), вибір типу технологічної сигналізації – абсолютна або девіаційна (що залежить від заданої точки), програмне калібрування каналів за зовнішнім зразковим джерелом аналогового сигналу, цифрова фільтрація, довільне масштабування шкал вимірюваних параметрів, лінеаризація вхідних сигналів, добування квадратного кореня, режими статичного й динамічного балансування,

моніторинг справності датчиків (їхніх ліній зв'язку або вимірювального каналу) із системою безпечного керування виконавчими механізмами, ретрансмісія вхідних аналогових параметрів на аналоговий вихід пристрою та ін.

Регулятор являє собою вільно програмований компактний прилад. Користувач, який не має знань і навичок програмування, може просто викликати й виконувати ці функції шляхом конфігурації регулятора МІК. Регулятори МІК дуже зручні у використанні. Вони можуть швидко й легко, змінивши конфігурацію, виконати більшість поставлених вимог і завдань керування технологічними процесами. Ці регулятори конфігуруються через передню панель приладу або гальванічний розділений інтерфейс Р5-485 (протокол Мослзіз), що також дозволяє використати прилад як вилучений контролер при роботі в сучасних мережах керування й збору інформації.

Конструкція приладу. Регулятор МІК сконструйовано за блоковим принципом; він включає: пластмасовий корпус, фронтальний блок передньої панелі з елементами обслуговування (клавіатурою) та індикації, блок задньої частини з мережною клемною колодкою й розніманнями для підключення клемно-блокових з'єднувачів, призначених для підключення зовнішніх вхідних і вихідних ланцюгів.

Передня панель приладу обладнана активною чотирирозрядною цифровою індикацією для відображення вимірюваної величини – дисплей ПАРАМЕТР, заданої точки – дисплей ЗАВДАННЯ, значення управляючого впливу, подаваного на аналоговий вихід пристрою – дисплей ВИХІД, необхідною кількістю клавіш обслуговування й сигналізаційних світлодіодних індикаторів для різних статусних режимів і сигналів. Зовнішній вигляд передньої панелі регулятора МІК-21-05 наведено на рис. 8.11.



Рисунок 8.11 – Зовнішній вигляд передньої панелі регулятора МІК-21-05

Призначення дисплеїв передньої панелі:

Дисплей *ПАРАМЕТР*: У режимі *РОБОТА* індексує значення обраної вимірюваної величини, У режимі *КОНФІГУРАЦІЯ* – значення обраного параметра.

Дисплей *ЗАВДАННЯ*: У режимі *РОБОТА* індексує значення заданої точки (внутрішньої або зовнішньої) або значення другого аналогового входу. У режимі *КОНФІГУРАЦІЯ* номер індексує параметри конфігурації.

Дисплей *ВИХІД*: У режимі *РОБОТА* індексує значення управляючого впливу, поданого на аналоговий або імпульсний вихід пристрою, або сигнал положення виконавчого механізму (у %). У режимі *КОНФІГУРАЦІЯ* індексує символи «ПР», які вказують користувачеві на те, що прилад перебуває в режимі конфігурації (програмування).

Призначення світлодіодних індикаторів.

Індикатори – МАХ, МІН, КУ, ЛУ, РУ сигналізують про відповідний режим роботи та вихід параметрів за задані межі.

8.6. Багатоканальний реєстратор РМТ 59

Багатоканальні безпаперові реєстратори (наприклад, РМТ 59) призначаються для вимірювання, реєстрації та контролю температури й інших неелектричних величин (частоти, тиску, витрати, рівня та ін.), перетворених на електричні сигнали сили, напруги постійного струму й активний опір постійного струму. Реєстратори багатоканальні призначаються для використання в різних технологічних процесах енергетики, металургії, хімічної промисловості та ін. Основні характеристики багатоканального безпаперового реєстратора, який має:

- від 6 до 42 гальванічно розв'язаних аналогових входів (кратне 6);
- від 0 до 18 гальванічно розв'язаних струмових виходів (кратне 6);
- від 0 до 48 гальванічно розв'язаних дискретних входів (кратне 8);
- від 0 до 48 гальванічно розв'язаних релейних виходів (кратне 8);
- від 0 до 10 програмованих вставок на кожен канал.

Прилад має гнучку модульну структуру (комбінацію з семи модулів аналогових і дискретних входів і виходів). Можливе установлення таких модулів:

- АЦП – 6-канальний модуль аналогових входів, до яких підключаються первинні перетворювачі, сигнали сили та напруги постійного струму, електричного опору;
- ПВІ – 6-канальний модуль вбудованих вимірювальних перетворювачів (струмових виходів);
- УПР – модуль реле і дискретних входів, що управляє вмиканням-вимиканням восьми реле за командами від модуля індикації, опитує стан восьми дискретних входів і отриману інформацію про їх стан передає в мікроконтролер. Кожен дискретний вхід дозволяє перевірити стан сухого

контакту вбудованим джерелом напруги (13 ± 3) В. При цьому в перевірених ланцюгах виникає струм не більше 20 мА;

–РЕЛЕ – варіант модуля УПР, що містить вісім реле і не містить дискретних входів.

Вільна логіка програмування аналогових (струмових) і дискретних виходів.

Результати вимірювань відображаються на кольоровому дисплеї у вигляді чисел (таблиці), графіків, гістограм у різних поєднаннях. Кількість екранних форм і вид відображення даних на кожній екранній формі конфігурується користувачем. Перемикання між екранними формами здійснюється з клавіатури приладу.

Максимальна кількість екранних форм – 10. На одній екранній формі може відображатися до 12 вимірювальних каналів.

У РМТ 59 застосована паралельна обробка сигналів за вимірювальними каналами; цикл опитування всіх каналів становить близько 1 с;

РМТ 59 є мікропроцесорним приладом, що переконфігурується споживачем;

Конфігурація приладу здійснюється споживачем за допомогою клавіатури на лицьовій панелі, зовнішньої клавіатури, по інтерфейсу RS-232 або RS-485 (прилад має комбінований інтерфейс) за допомогою спеціального програмного забезпечення, що входить у комплект поставки, або за допомогою USB Flash-карти.

Реєстратор зберігає в енергонезалежній Flash-пам'яті об'ємом 1 ГБ результати вимірювань, стан реле, стан дискретних входів, поточний час.

Реєстратор може комплектуватися модулем резервного акумуляторного живлення, який забезпечує повну працездатність приладу протягом 5 хв у разі відсутності основного (~ 220 В) і резервного ($= 24$ В) живлення.

Електромагнітна сумісність (ЕМС) – III-A (група III за стійкістю до перешкод, критерій якості функціонування А) або IV-B (група IV, критерій якості функціонування В).

Контрольні запитання до частини II

1. Назвіть методи вимірювань.
2. Як розрізняють прилади за виглядом вихідного сигналу?
3. Назвіть похибки засобів вимірювання.
4. Наведіть класифікацію засобів вимірювання температури.
5. Як виміряти температуру за допомогою термометрів опору?
6. Наведіть класифікацію приладів вимірювання тиску за принципом дії, охарактеризуйте їх принципи та використання.
7. Поясніть методи вимірювання рівня та принципи роботи рівнемірів різних типів.
8. Як виміряти витрату рідини витратоміром змінного перепаду тиску?

9. Поясніть, у яких випадках для вимірювання в'язкості застосовують ротаційні віскозиметри.
10. Назвіть методи вимірювання вологості повітря.
11. Дайте визначення функціонального призначення автоматичного регулятора.
12. У чому полягає відмінність між регуляторами прямої та непрямої дії?
13. Яке призначення виконавчих механізмів та регулювальних органів.
14. Які типи виконавчих механізмів використовуються в системах управління?
15. Назвіть основні елементи мікропроцесорних систем.
16. Які основні ознаки мікропроцесорних контролерів?

Частина III. Автоматичні системи регулювання

Розділ 9. Основні поняття та визначення

9.1. Принципи регулювання

В управлінні технологічними процесами широко застосовуються автоматичні системи регулювання (АСР). Призначення АСР полягає в підтримуванні заданих значень фізичних параметрів, які характеризують перебіг технологічного процесу. АСР являє собою сукупність об'єкта й технічних засобів автоматизації, основним з яких є автоматичний регулятор. Параметр, який під час процесу слід підтримувати на заданому рівні, зветься *регульованою змінною $x_{вих}$* . Це може бути температура продукту в апараті, рівень рідини, тиск пари в пароводяній оболонці котла тощо. Під час роботи на об'єкт впливає багато зовнішніх чинників – *збурень*, які призводять до небажаних змін об'єкта (наприклад: зміна навантаження апарата, коливання напруги в мережі, зміна температури навколишнього середовища).

Автоматичний регулятор забезпечує задане значення регульованої змінної та виробляє *сигнал управляючої дії μ* , який впливає на об'єкт для знешкодження дії збурень. Якщо дійсне значення регульованої змінної не дорівнює заданому, то їх різниця становить *помилку регулювання*.

Існує два основних принципи регулювання: зі збурення та з відхилення.

Під час *регулювання зі збурення* (рис. 9.1, *а*) регулятор АР одержує інформацію про основне збурення λ_I , що виникло на вході в ОР. З його зміною регулятор формує регулювальну дію μ на об'єкт. У таких АСР сигнал μ з'являється практично в той самий момент, що і λ_I . Це є перевагою даної системи. Зазвичай такі АСР реагують лише на основне збурення λ_I , наприклад навантаження об'єкта, а інші збурення не враховуються. Регульована змінна $x_{вих}$ не контролюється і під дією другорядних збурень може відхилятися від заданого значення. АСР зі збурення є розімкненими системами.

Під час *регулювання з відхилення* (рис. 9.1, б) регульована змінна $x_{вих}$ порівнюється із заданим значенням $x_{зд}$. Із появою відхилення $(x_{вих} - x_{зд})$ регулятор AP виробляє регульовальну дію μ , що надійшовши на вхід об'єкта OP , ліквідує відхилення. У таких АСР регульовальна дія не залежить від кількості збурень, бо відхилення є наслідком впливу їх усіх. АСР із відхилення – це замкнена система, у якій сигнал із виходу об'єкта подається на вхід регулятора, а з виходу регулятора – на вхід об'єкта. Передавання сигналу з виходу системи на її вхід здійснюється за допомогою негативного зворотного зв'язку.

Принцип регулювання з відхилення відзначається більшою точністю; до його недоліків слід віднести інерційність систем, а також необхідність ужиття спеціальних заходів для забезпечення його стійкої роботи.

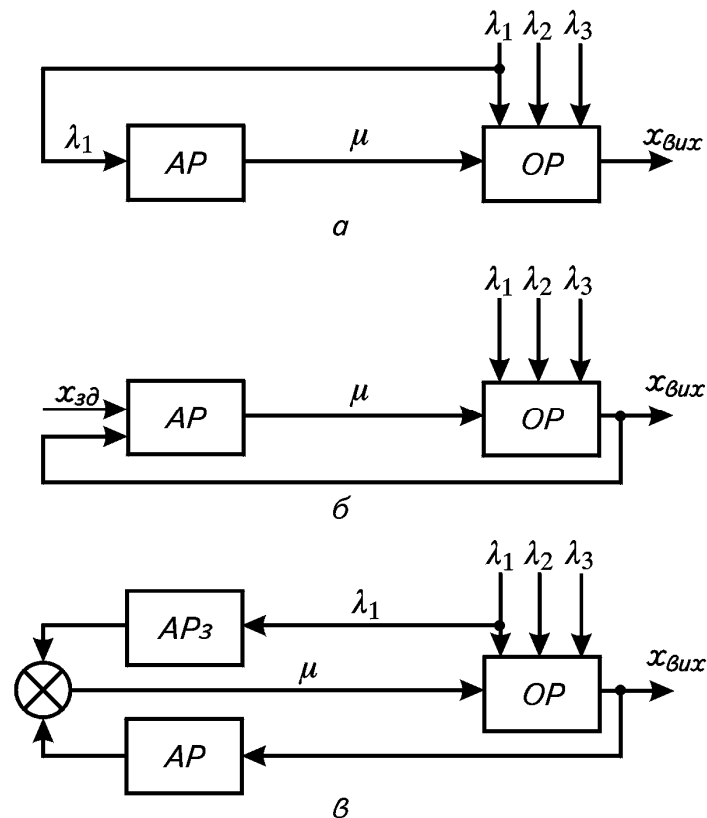


Рисунок 9.1 – Структурні схеми АСР:
а – зі збурення; б – з відхилення; в – комбіновані

Найбільш поширеними є АСР із відхилення. АСР зі збурення застосовуються лише в тих випадках, коли відсутні датчики регульованих змінних. У комбінованих АСР поєднано обидва принципи регулювання (рис, 9.1 в), що приводить до підвищення якості регулювання.

9.2. Функціональна структура замкненої АСР

Розглянемо функціональну структурну схему АСР з відхилення (рис. 9.2). Чутливий або вимірювальний елемент (BE), який утворює ланцюг зворотного зв'язку, вимірює значення регульованої змінної $x_{вих}$ на об'єкті OP і перетворює

це значення на пропорційний йому сигнал x_n іншої фізичної природи, що надходить до елемента порівняння (ЕП). За допомогою задавача $Зд$ у становлюється рівень сигналу, пропорційний заданому значенню $x_{вх}$ регульованої змінної. Сигнал $x_{вх}$ є вхідним сигналом системи. В елементі порівняння (ЕП) (суматорі) задане значення $x_{вх}$ порівнюється з сигналом $x_{вих}$, і сигнал розузгодження (відхилення) $\Delta x = x_{вх} - x_{вих}$ подається на вхід управляючого елемента, який формує сигнал управління. Виконавчий механізм (ВМ) перетворює сигнал управління на переміщення регульовального органу (РО), який безпосередньо змінює витрату речовини або енергії на об'єкті.

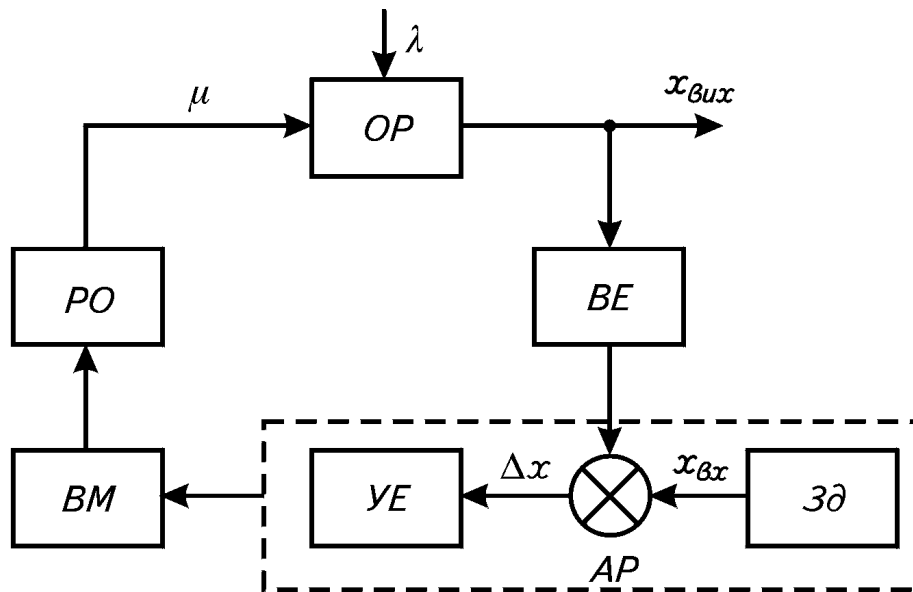


Рисунок 9.2 – Функціональна структура замкненої АСР

Таким чином, об'єкт з'єднується зі входом регулятора за допомогою чутливого елемента і з виходом регулятора через регульовальний орган. Вихідним сигналом системи є поточне значення регульованої змінної $x_{вих}$. Найбільшою мірою якість регулювання залежить від властивостей об'єкта та регулятора.

Розділ 10. Об'єкти регулювання

10.1. Властивості об'єктів регулювання

Об'єкти регулювання відзначаються великою різноманітністю. Це можуть бути теплові апарати, у яких регулюється температура або тиск; гідравлічні об'єкти, у яких слід підтримувати постійний рівень рідини; електричний привід, у якому регулюється швидкість обертання вала та ін. Об'єкти регулювання розрізняються за фізико-хімічною природою процесів, які в них відбуваються, принципом дії, конструкцією технологічного обладнання та ін. Незважаючи на таку різноманітність, можна виділити об'єкти, які мають

однакові властивості. Для опису властивостей об'єктів застосовують принцип математичного моделювання, коли поведінка об'єкта описується математичною залежністю, яка пов'язує вхідні та вихідні сигнали об'єкта, а власне об'єкт розглядається як перетворювач сигналів, які надходять до його входу, на вихідні.

Стан об'єкта, як зазначалось раніше, визначають збурювальні дії λ , управляюча дія μ та регульована змінна $x_{вих}$. Управляючі (регульовальні) та збурювальні дії є вхідними сигналами об'єкта, регульовані змінні – вихідними.

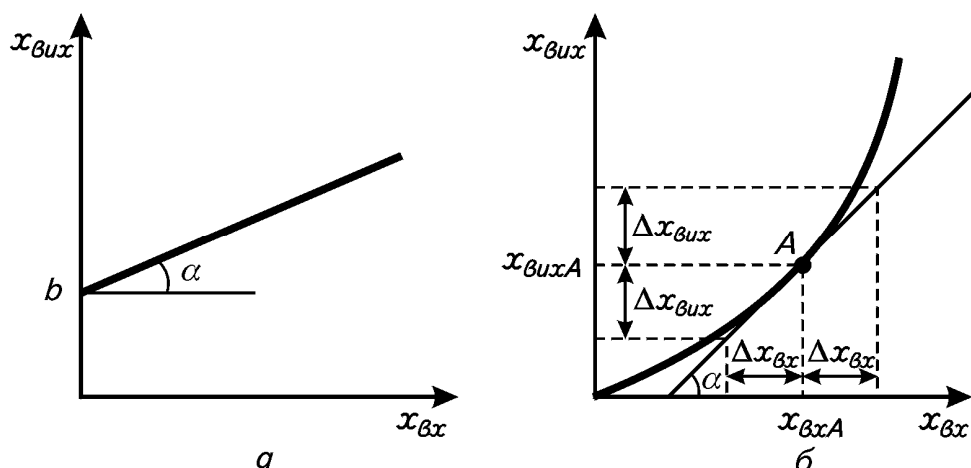


Рисунок 10.1 – Статичні характеристики об'єктів:
а – лінійна; б – нелінійна

Існують два режими роботи об'єктів – статичний та динамічний. У статичному (сталому) режимі об'єкт знаходиться в стані рівноваги, коли приплив речовини або енергії до об'єкта дорівнює стоку, регульована змінна $x_{вих}$ при цьому не залежить від часу і залишається постійною: $x_{вих}(t) = const$.

Статична характеристика визначає залежність вихідної величини $x_{вих}$ від вхідної дії на об'єкт, тобто μ або λ у статичному режимі:

$$x_{вих} = f(\mu); x_{вих} = f(\lambda). \quad (10.1)$$

Статична характеристика може бути лінійною або нелінійною (рис. 10.1). Для об'єктів з лінійною характеристикою рівняння статики має такий вигляд:

$$x_{вих} = kx_{вх} + b, \quad (10.2)$$

де k – коефіцієнт передачі об'єкта (тангенс кута нахилу α); b – постійна величина.

Більшість елементів АСР є нелінійними, тобто мають нелінійні статичні характеристики та описуються нелінійними рівняннями. Для спрощення аналізу в багатьох випадках вдається їх лінеаризувати, тобто звести до лінійного вигляду. Найбільш простим є графічний метод лінеаризації, який

застосовується в тих випадках, коли статична характеристика має вигляд безперервної кривої. На рис. 10.1, б показано, що у вузькому інтервалі зміни вхідної величини $\pm \Delta x_{вх}$ криву $x_{вих} = f(x_{вх})$ можна замінити дотичною до неї, яку можна розглядати як робочу ділянку статичної характеристики. Лінеаризоване рівняння статички має вигляд

$$\Delta x_{вих} = k \Delta x_{вх}, \quad (10.3)$$

де k – коефіцієнт передачі об'єкта.

Можна отримати статичну характеристику за каналом управляючої дії $x_{вих} = k_y \mu$ або за каналом збурення $x_{вих} = k_z \lambda$. Коефіцієнт передачі k показує, наскільки зміниться вихідна величина об'єкта під впливом зовнішніх дій.

Із порушенням рівноваги між припливом і стоком речовини або енергії в об'єкті регульована величина починає змінюватись. У цьому разі має місце динамічний режим роботи. Оскільки на об'єкт безперервно впливають різні збурення, динамічний режим є більш характерним. *Динамічна характеристика* визначає залежність зміни вихідного параметра об'єкта від часу під впливом вхідної величини та визначається рівнянням динаміки. Рівняння динаміки – це диференціальні рівняння, що визначають поведінку об'єкта під час перехідного процесу, тобто під час переходу від одного стану рівноваги до іншого за умови впливу збурення або після його припинення.

10.2. Динамічні характеристики об'єктів регулювання

До динамічних характеристик об'єктів, що впливають на якість регулювання, належить самовирівнювання, ємність та запізнення.

Самовирівнювання – здатність об'єктів самостійно, без втручання регулятора, віднайти після збурення новий стану рівноваги. Залежно від здатності до самовирівнювання об'єкти поділяються на статичні, астатичні та нестійкі.

Прикладом статичного об'єкта може бути напірний бак (рис. 10.2, а), до якого рідина надходить по трубі 1 через клапан 2 і вільно витікає по трубі 2. Вхідними сигналами для нього є зміна припливу Q_{np} та стоку Q_{cm} , а вихідними – зміна рівня рідини H . У загальному вигляді характеристики цього об'єкта мають вираз: $H = f(Q_{np}, Q_{cm})$, та динамічна $H = f(t)$ при $\Delta Q_{np}, \Delta Q_{cm} = const$.

В усталеному режимі приплив рідини до бака дорівнює її стоку, і рівень рідини в ньому залишається постійним. Це статичний режим роботи, який описується рівнянням матеріального балансу

$$Q_{np}(t) = Q_{cm}(t), \quad (10.4)$$

де $Q_{np}(t)$, $Q_{cm}(t)$ – відповідно зміна притоку і стоку рідини залежно від часу.

Із порушенням рівноваги, якщо, наприклад, збільшити приплив рідини до об'єкта, її рівень почне підвищуватися. Унаслідок чого зростає гідростатичний тиск, що призводить до збільшення стоку. Поступово різниця між припливом та стоком зменшується і настає новий стан рівноваги, якому відповідає нове значення рівня. Отже цей об'єкт має самовирівнювання на стоку (рис. 10.2, б).

Таким чином, статичні об'єкти мають самовирівнювання, яке сприяє стабілізації регульованої змінної в об'єкті та полегшує роботу регуляторів. У статичних об'єктах кожному значенню збурення в стані рівноваги відповідає певне значення вихідного сигналу, тобто вони мають статичну характеристику.

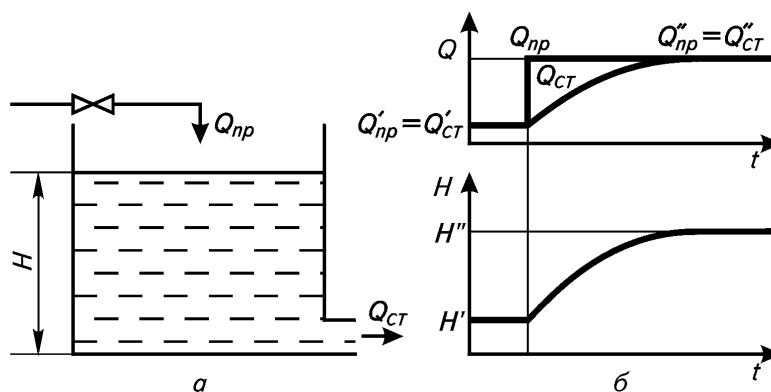


Рисунок 10.2 – Статичний об'єкт регулювання:

а – напірний бак як об'єкт регулювання; б – самовирівнювання статичного об'єкта

Рівняння динаміки напірного бака має такий вигляд:

$$Fd\Delta H/dt + \rho\Delta H = \Delta Q_{np} - \Delta Q_{st}, \quad (10.5)$$

де F – площа поперечного перетину бака, m^2 ; ρ – коефіцієнт самовирівнювання об'єкта, який показує ступінь впливу рівня на стік, для статичного об'єкта $\rho > 0$.

Розділимо рівняння (10.5) на ρ

$$dx_{вих} / dt + x_{вих} = k\mu, \quad (10.6)$$

де $T = F/\rho$ – стала часу об'єкта, с; $k = 1/\rho$ – коефіцієнт підсилювання, або передачі об'єкта.

Стала часу T є мірою інерції об'єкта, тобто чим більша стала часу, тим з меншою швидкістю змінюється вихідна змінна і тривалішим буде час переходу до нового стану рівноваги після дії вхідного збурення.

Рівняння (10.6) є математичною моделлю напірного бака.

У загальному вигляді рівняння статичного об'єкта є таким:

$$Tdx_{вих} / dt + x_{вих} = \kappa\mu, \quad (10.7)$$

де $x_{вих}$ – регульована змінна (вихідна величина) об'єкта; μ – регульовальна дія (вхідна величина).

Існують два методи отримання математичного опису об'єктів: аналітичний та експериментальний. За аналітичного методу на основі рівнянь матеріального та енергетичного балансу створюється математична модель об'єкта. Більш практичним і поширеним є експериментальний метод визначення характеристик об'єкта, за якого на об'єкт, який перебуває в стані рівноваги, подають стрибкоподібне збурення шляхом зміни вхідної дії на деяку величину $\Delta\mu$ або $\Delta\lambda$. Зміна вихідної величини $x_{вих}$ у результаті такого збурення зветься *кривою розгону* об'єкта.

Рішенням диференційного рівняння (10.7) є рівняння кривої розгону

$$x_{вих} = k\mu[1 - \exp(-t/T)]. \quad (10.8)$$

Вихідний сигнал статичного об'єкта під час стрибкоподібного збурення змінюється за експонентою і рухається до нового встановленого значення (рис. 10.3, а). Тому такий об'єкт зветься *стійким*. За кривою розгону можна визначити сталу часу T та коефіцієнт передачі k . Для цього до точки графіку, що відповідає найбільшій швидкості зміни $x_{вих}$, проводиться дотична від попереднього до наступного сталого значення $x_{вих}$. Проекція цієї дотичної на вісь часу дає значення T .

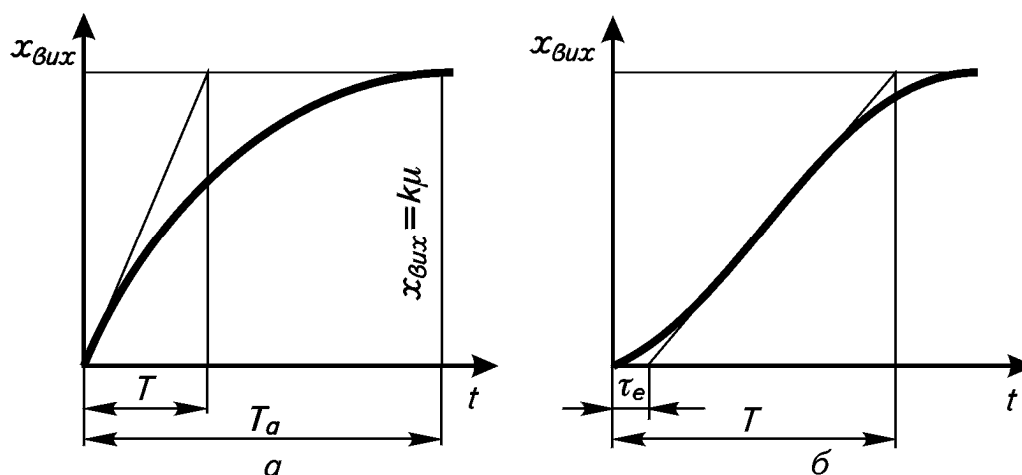


Рисунок 10.3 – Визначення параметрів статичного об'єкта за кривою розгону:
а – одноємнісного; б – багатоемнісного

Коефіцієнт передачі k визначається як відношення сталого відхилення регульованої змінної $x_{вих}$ до значення вхідної дії μ , що спричинила таке відхилення:

$$k = x_{вих} / \mu. \quad (10.9)$$

В астатичних об'єктах не існує однозначної залежності між регульованою змінною та вхідними діями на об'єкт.

Прикладом астатичного об'єкта також може бути напірний бак, на виході з якого встановлено насос (рис. 10.4). У цьому об'єкті усталений режим можливий лише за умов рівноваги припливу рідини та продуктивності насоса. Зі зміною припливу Q_{np} порушується матеріальний баланс, що призводить до зміни рівня H із постійною швидкістю, тобто об'єкт не має самовирівнювання ($\rho = 0$). Рівняння динаміки такого астатичного об'єкта має вигляд

$$FdH/dt = Q_{np} - Q_{cm}. \quad (10.10)$$

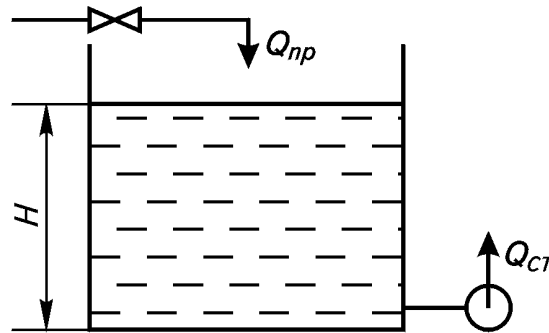


Рисунок 10.4 – Астатичний об'єкт регулювання

Після інтегрування виразу (10.10) маємо

$$H = (1/F) \int_0^t (Q_{nn} - Q_{cc}) dt. \quad (10.11)$$

Криву розгону астатичного об'єкта зображено на рис 10.5, а. Кут нахилу α залежить від властивостей астатичного об'єкта і величини збурення:

$$\operatorname{tg} \alpha = (Q_{np} - Q_{cm})/F. \quad (10.12)$$

Існують об'єкти, що звуться нестійкими, у яких будь-яке збурення викликає збільшення вихідного сигналу зі зростаючою швидкістю (рис. 10.5, б). Такі об'єкти мають від'ємне самовирівнювання ($\rho < 0$). Нестійкі об'єкти зустрічаються досить рідко. Прикладом їх можуть бути апарати, у яких відбуваються екзотермічні або ланцюгові реакції. Експлуатувати такі об'єкти без регуляторів не можна.

Об'єкти регулювання мають властивість накопичувати енергію або речовину. Ця властивість зветься *ємністю* об'єкта. Так, для теплового апарата ємністю буде його загальна теплоємність; для гідравлічного об'єкта – об'єм резервуара. Ємність впливає на якість регулювання. За умов дії однакового збурення регульований сигнал буде змінюватись із більшою швидкістю в тому об'єкті, ємність якого є меншою. Таким чином, ємність пропорційна до сталої часу T , тобто характеризує інерційність об'єкта.

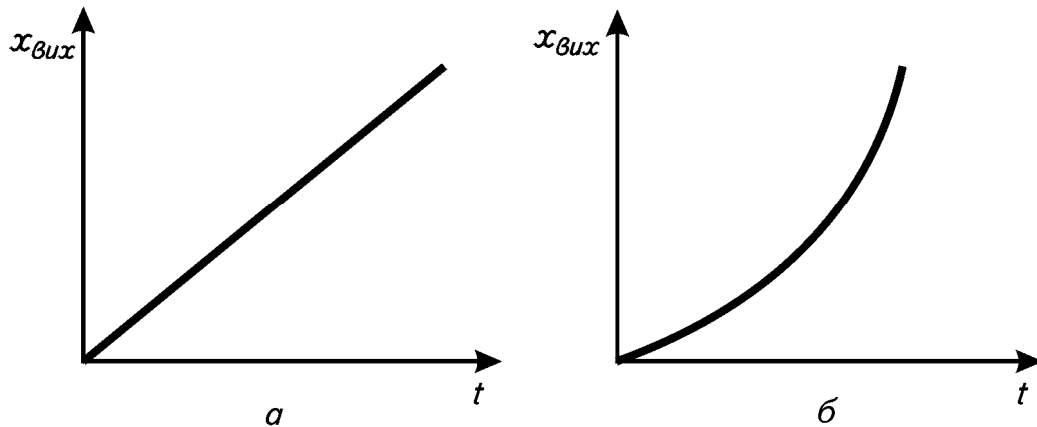


Рисунок 10.5 – Криві розгону об'єктів регулювання:
а – астатичного; б – нестійкого

У більшості об'єктів між моментом виникнення збурення та початком зміни регульованої величини проходить деякий час – запізнення, що ускладнює управління процесом. Розрізняють чисте (транспортне) та ємнісне запізнення.

Чисте (транспортне) *запізнення* зумовлене транспортними причинами, тобто причинами транспортування матеріалів. У зв'язку з цим між зміною вхідного та вихідного сигналів проходить певний час, який і буде часом чистого або транспортного запізнення τ_z . Джерелом цього виду запізнення є транспортери, трубопроводи, конвейєри. Наприклад, зі зміною подання матеріалу на транспортер (рис. 10.6) зміна витрати на виході з нього відбудеться через деякий час τ_z , що визначається відношенням довжини руху стрічки транспортера l до його швидкості v ($\tau_z = l / v$).

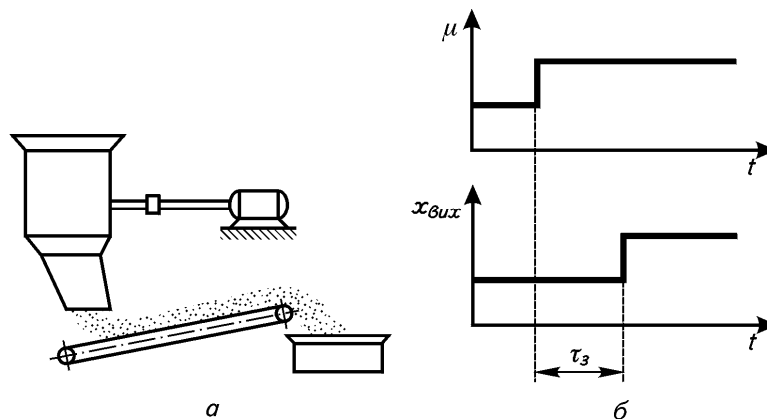


Рисунок 10.6 – Об'єкт із транспортним запізненням:
а – приклад об'єкта; б – крива розгону

Ємнісне (перехідне) *запізнення* властиве для багатоемнісних об'єктів. На цих об'єктах ємнісне запізнення виникає з подоланням потоком речовини або енергії опору об'єктів, що розділяють теплові, гідравлічні та інші ємності. Зі зміною збурення регульований параметр спершу майже не змінюється, а потім швидкість його зростає. Тому криві розгону багатоемнісних об'єктів відрізняються від аналогічних характеристик простих об'єктів наявністю

початкової ділянки повільної зміни параметра, а надалі форми кривих є подібними (рис. 10.3, к). Час ємнісного запізнення τ_e – це час від початку зміни величини до моменту зміни її з найбільшою швидкістю.

Повне запізнення об'єкта регулювання визначається як сума величин часу чистого та ємнісного запізнень.

Розділ 11. Типові динамічні ланки автоматичних систем

11.1. Подання елементів ланками

Для визначення динамічних властивостей автоматичної системи регулювання загалом необхідно знати динамічні властивості не тільки об'єктів регулювання, але й усіх інших її складових. При цьому система розділяється на окремі елементи, що відрізняються один від одного не за функціональною ознакою, а за динамічними властивостями. За великої різноманітності автоматичних систем і елементів, що входять до них, існує лише кілька типів динамічних ланок. Ланкою автоматичної системи зветься найпростіша складова частина, яка відбиває її динамічну властивість. Не завжди один конструктивний елемент замінюється однією ланкою. Елемент може бути поданий комбінацією із кількох ланок. Ланки автоматичних систем є детектуючими, тобто сигнал може проходити через ланку тільки в одному напрямку – від входу до виходу. Це дозволяє розглядати кожну ланку окремо від усієї системи.

До динамічних характеристик ланок належить рівняння динаміки, перехідні характеристики та передавальні функції.

Під *передавальною функцією* мають на увазі відношення вихідної величини ланки до вхідної. Передавальну функцію одержують із диференційного рівняння ланки, при цьому використовують операторну форму запису, яка дає можливість знак диференціювання d/dt замінити оператором p . У результаті можна розв'язати диференціальне рівняння алгебраїчно. Такий перехід від функції часу $x(t)$ до її вираження $X(p)$ зветься прямим перетворенням Лапласа та визначається за формулою

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt. \quad (11.1)$$

Зворотна операція переходу від операторного вираження $X(p)$ до функції $x(t)$ зветься зворотним перетворенням Лапласа.

Використання перетворення Лапласа значно спрощує розв'язання диференціальних рівнянь, наприклад: $dx/dt = px$; $d^2x/dt^2 = p^2x, \dots, d^n x/dt^n = p^n x$.

Передавальна функція ланки $W(p)$ визначається як відношення операторного вираження вихідної величини $X_{вих}(p)$ до операторного значення вхідної величини $X_{вх}(p)$:

$$W(p) = X_{вих}(p) / X_{вх}(p). \quad (11.2)$$

11.2. Ланки лінійних автоматичних систем регулювання

Статична ланка першого порядку (аперіодична ланка). Динамічна характеристика ланки описується диференціальним рівнянням першого порядку

$$T dx_{вих} / dt + x_{вих} = k x_{вх}, \quad (11.3)$$

де T – стала часу ланки; k – коефіцієнт підсилення ланки; $x_{вих}$ – вихідна величина ланки; $x_{вх}$ – вхідна величина.

Застосуємо операторну форму запису диференціальних рівнянь, тоді рівняння аперіодичної ланки набуде вигляду

$$T p x_{вих} + x_{вих} = k x_{вх}. \quad (11.4)$$

Визначимо з рівняння (11.4) передавальну функцію аперіодичної ланки таким чином:

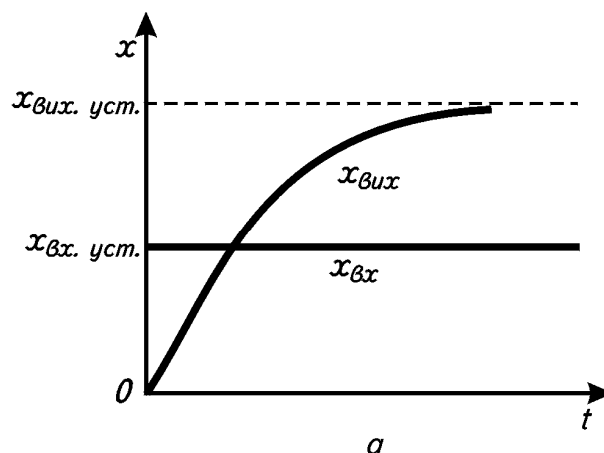
$$W(p) = k / (1 + Tp). \quad (11.5)$$

Перехідна характеристика, або крива розгону ланки, має такий вигляд:

$$x_{вих} = k x_{вх} (1 - e^{-t/T}), \quad (11.6)$$

тобто графіком кривої розгону аперіодичної ланки є експонента (рис. 11.1, а). За умов стрибкоподібної зміни вхідної величини ланки вихідна величина змінюється повільно, відстаючи від зміни вхідної, тому аперіодичні ланки звуться *інерційними*.

Прикладами інерційних ланок (рис. 11.1, б–д) є електродвигун постійного струму з незалежним збудженням (вхідна величина – живильна напруга U , а вихідна – кутова швидкість обертання ω); термопара (вхідна величина – температура гарячого спаю, вихідна – термо – едс); електричні ланцюги RC або LC ; одноємнісні статичні об'єкти, наприклад, напірний бак, у який рідина надходить під рівень.



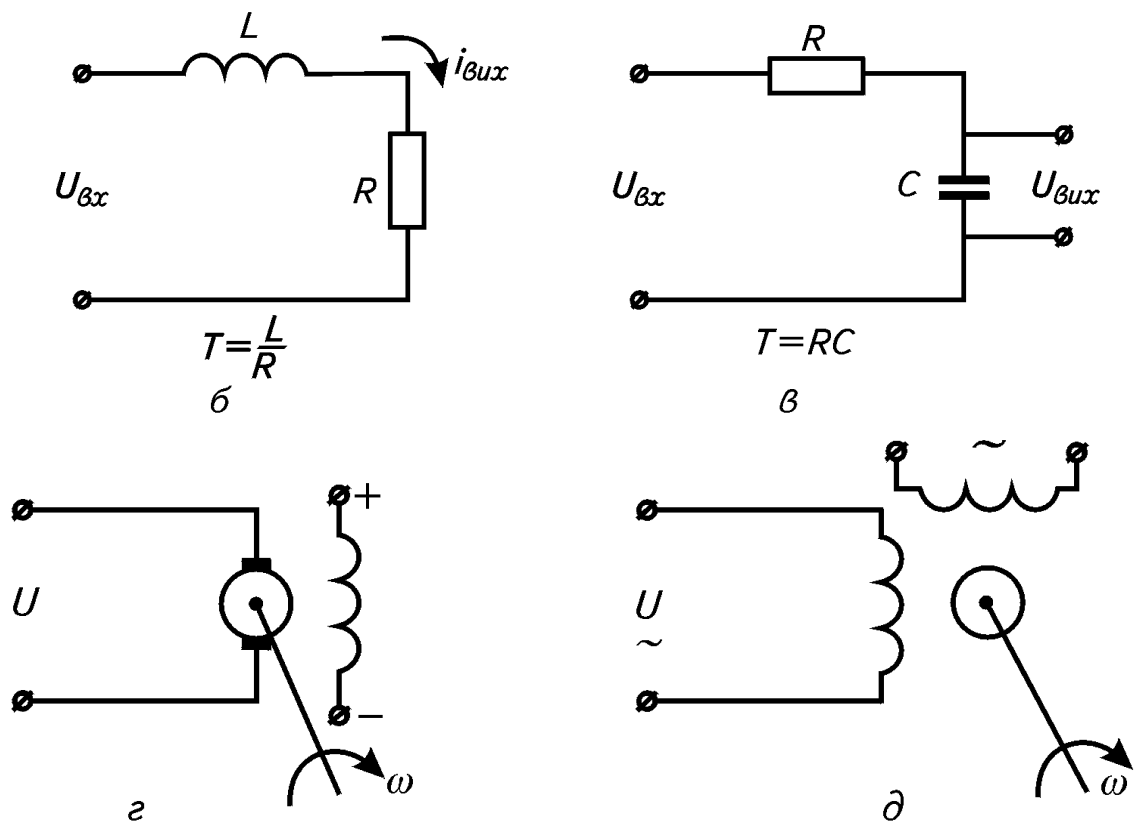


Рисунок 11.1 – Інерційні ланки:

а – крива розгону; б, в – електричні ланцюги LC та RC ; г – двигун постійного струму з незалежним збудженням; д – двофазний індукційний двигун

Статична ланка нульового порядку (підсилювальна ланка). Рівняння динаміки підсилювальної ланки має вигляд

$$x_{вих} = kx_{вх} . \quad (11.7)$$

Передавальна функція ланки дорівнює

$$W(p) = k . \quad (11.8)$$

Із поданням на вхід підсилювальної ланки стрибкоподібного сигналу вихідна величина без запізнення повторює зміну вхідної величини (рис. 11.2, а), тому такі ланки зветься *безінерційними*.

Прикладами підсилювальних ланок можуть бути (рис. 11.2, б–д) редуктор, подільник напруги, важільна передача, електронний підсилювач тощо.

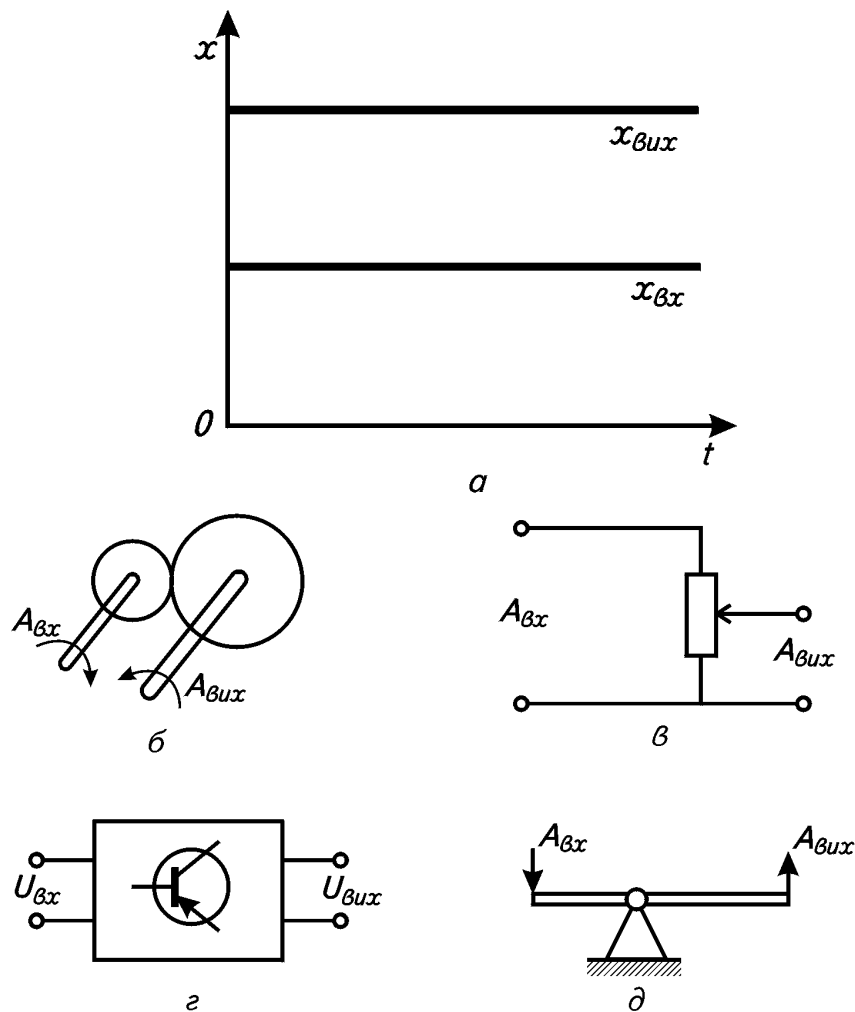


Рисунок 11.2 – Безінерційні ланки:

а – крива розгону; б – редуктор; в – подільник напруги; г – електронний підсилювач; д – важільна передача

Астатична ланка першого порядку (інтегрувальна). Диференціальне рівняння динаміки цієї ланки має вигляд

$$x_{vux} = k \int x_{vx} dt \quad (11.9)$$

або

$$dx_{vux} / dt = kx_{vx}.$$

Передавальна функція інтегрувальної ланки дорівнює

$$W(p) = k/p. \quad (11.10)$$

Перехідною характеристикою інтегрувальної ланки є пряма, яка проходить через початок координат під кутом α до осі часу (рис. 11.3 а).

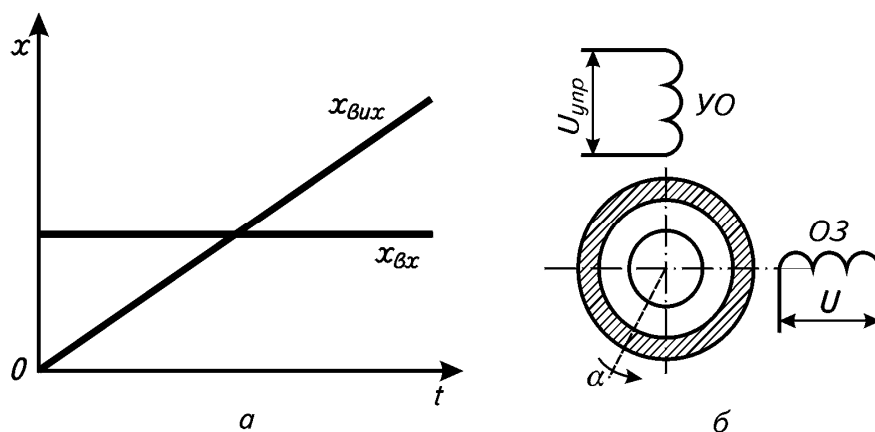


Рисунок 11.3 – Інтегрувальні ланки:
а – крива розгону; б – електродвигун

Прикладом астатичної ланки може бути електродвигун, якщо вхідним сигналом є напруга $U_{упр}$, а вихідним – кут α повороту ротора (рис. 11.3, б).

Диференціювальна ланка. Диференціювальною називається ланка, у якій вихідна величина пропорційна швидкості зміни вхідної

$$x_{вих} = k dx_{вх} / dt. \quad (11.11)$$

Така ланка називається ідеальною. Відповідно до рівняння (11.11) вихідна величина ідеальної диференціювальної ланки прямує до нескінченності за миттєвої (стрибоподібної) зміни вхідної. Практично такий перехідний процес не можливий. На практиці використовують реальні диференціювальні ланки, які можна подати послідовно з'єднаними ідеальною диференціювальною та анеріодною ланками. Рівняння реальної диференціювальної ланки має вигляд

$$T dx_{вих} / dt + x_{вих} = k dx_{вх} = k dx_{вх} / dt. \quad (11.12)$$

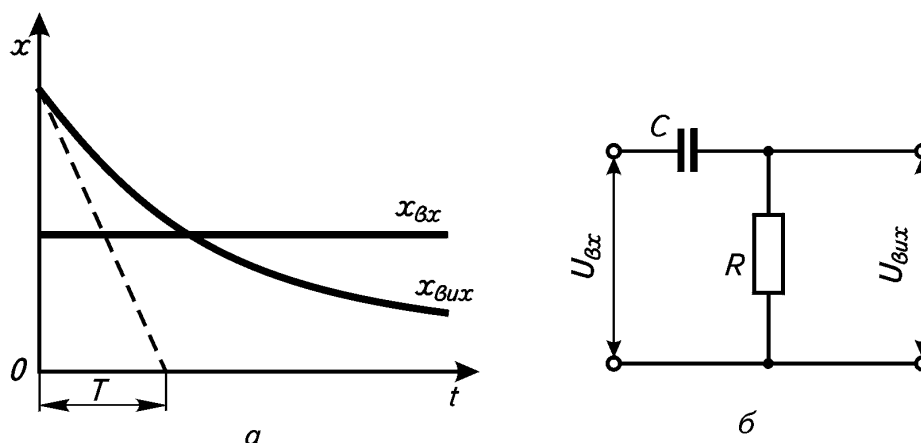


Рисунок 11.4 – Реальна диференціювальна ланка:
а – крива розгону; б – контур

Передавальна функція ланки визначається таким чином:

$$W(p) = kp / (1 + Tp). \quad (11.13)$$

Перехідна характеристика реальної диференціувальної ланки (рис. 11.4, а) визначається виразом

$$x_{\text{вих}} = (kx_{\text{вх}} / T) e^{-\frac{t}{T}}. \quad (11.14)$$

Прикладом реальної диференціувальної ланки може бути контур, який складається з послідовно включених конденсатора C та опору R (рис. 11.4, б).

Коливальна ланка. Динамічні властивості цієї ланки описуються рівнянням

$$T_2^2 d^2 x_{\text{вих}} / dt + T_1 dx_{\text{вих}} / dt + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}. \quad (11.15)$$

де T_1 , T_2 – сталі часу; k – коефіцієнт підсилення.

В операторній формі рівняння (11.15) має вигляд

$$T_2 p^2 x_{\text{вих}} + T_1 p x_{\text{вих}} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}. \quad (11.16)$$

Передавальна функція коливальної ланки визначається як

$$W(p) = k / (T_2^2 p^2 + T_1 p + 1). \quad (11.17)$$

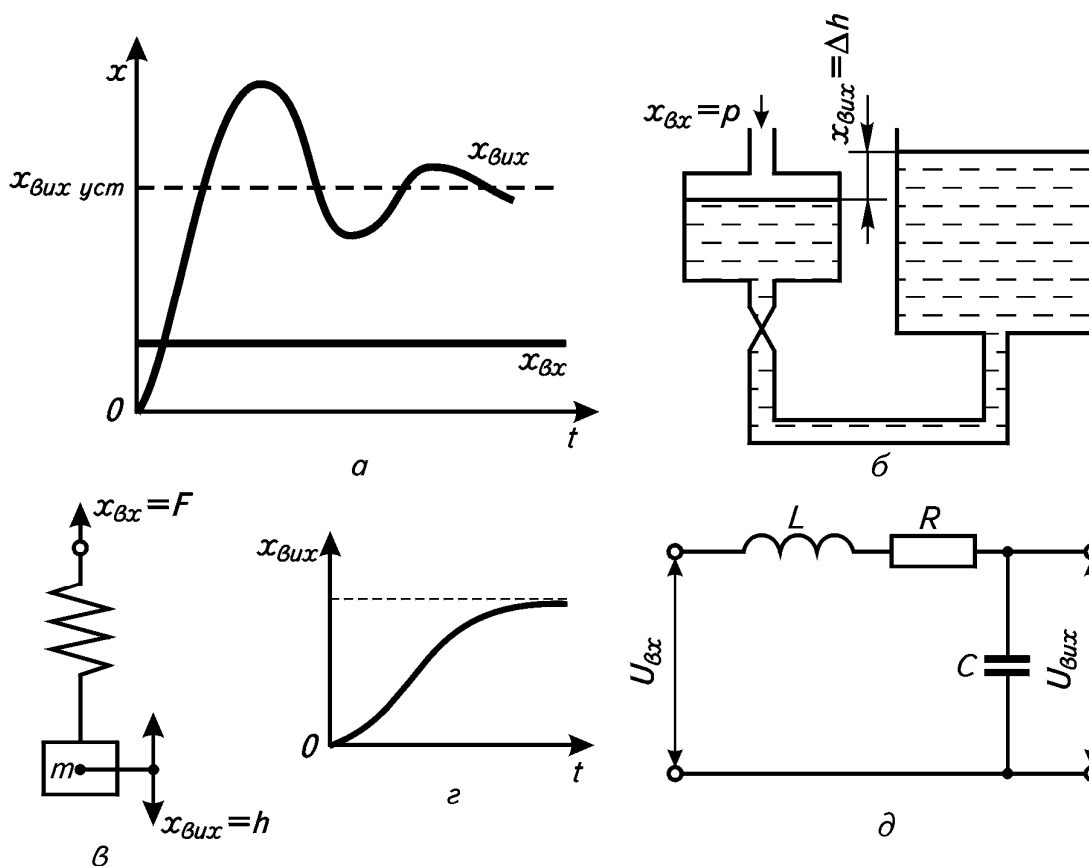


Рисунок 11.5 – Коливальна ланка:
а – крива розгону за умов $T_1 < 2T_2$; б – сполучені посудини;
в – вантаж із масою m , підвішений на пружині;
г – крива розгону за умов $T_1 > 2T_2$; д – контур RLC

До коливальної ланки належать пристрої, у яких вихідна величина після подавання на вхід стрибкоподібного збурення прямує до усталеного значення, здійснюючи коливання. Ця ланка складається ніби з двох елементів, що можуть акумулювати енергію або речовину та обмінюватись нею між собою.

Якщо $T_1 < 2T_2$, то перехідний процес матиме вигляд згасаючих коливань. За умов $T_1 > 2T_2$ перехідний процес не буде коливальним, у цьому випадку ланка називатиметься аперіодичною другого порядку (рис. 11.5, а, з).

Прикладами коливальних ланок можуть бути (рис. 11.5, б, в, д); сполучені посудини; вантаж із масою m , підвішений на пружині; електричний контур RLC.

Ланка чистого запізнення. Вихідна величина ланки повторює зміну вхідної величини, але з деяким постійним запізненням (рис. 11.6, а). Рівняння ланки має вигляд

$$x_{вих}(t) = x_{вх}(t - \tau), \quad (11.18)$$

де t та $(t - \tau)$ – не множники, а символи; τ – чисте запізнення.

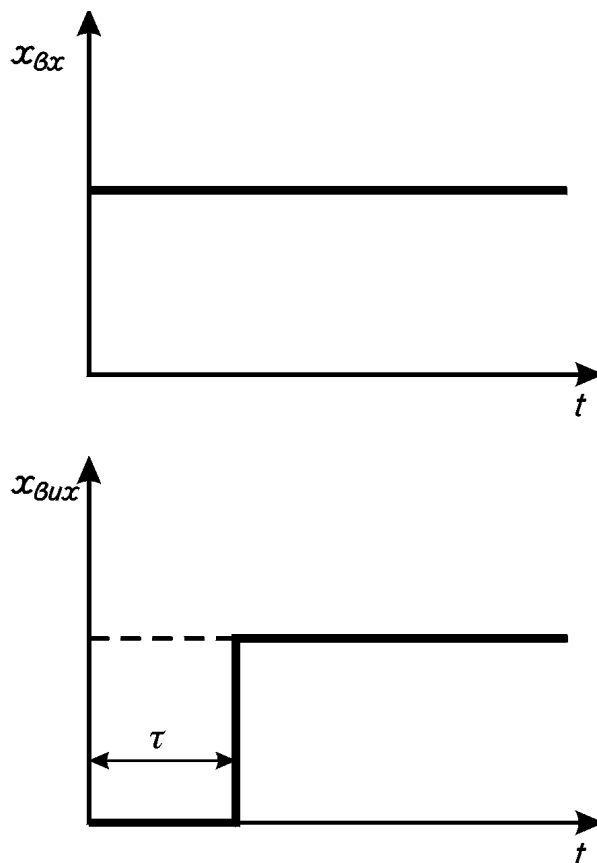


Рисунок 11.6 – Ланка чистого запізнення

Передавальна функція ланки дорівнює

$$W(p) = e^{-p\tau}. \quad (11.19)$$

Прикладами ланок чистого запізнення можуть бути трубопровід, транспортер та ін.

11.3. З'єднання ланок та алгоритмічні структурні схеми автоматичних систем

За допомогою типових динамічних ланок можна подавати не тільки окремі елементи системи, але й усю систему загалом. Блок-схема системи, яка складається з окремих типових ланок, називається алгоритмічною структурною схемою і становить динамічну модель системи.

Основою алгоритмічної схеми АСР є функціональна блок-схема автоматичної системи, але в прямокутниках замість функціональної ознаки елементів записуються їхні передавальні функції. Елементи порівняння на алгоритмічній схемі зображуються так само, як і на функціональній.

За алгоритмічною структурною схемою можна визначити передавальну функцію всієї системи та рівняння динаміки. Для цього треба знати правила перетворення структурних схем.

За умов послідовного з'єднання елементів

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) \dots W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (11.20)$$

де $W(p)$ – результуюча передавальна функція; $W_1(p)$ $W_2(p)$..., $W_n(p)$ – передавальні функції елементів; \prod – знак добутку.

За умов паралельного з'єднання елементів

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p). \quad (11.21)$$

Під час замикання елементів зворотним зв'язком

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_0(p)}, \quad (11.22)$$

де $W_1(p)$ і $W_0(p)$ – відповідно передавальні функції з'єднання, що охоплюється зворотним зв'язком, і кола зворотного зв'язку. Якщо зворотний зв'язок від'ємний, ставлять знак «плюс», додатний – «мінус».

Використовуючи залежності (11.20) – (11.22) можна АСР будь-якої структурної складності звести до узагальненого елемента розімкненої системи $W_p(p)$, охопленого зовнішнім зворотним зв'язком, який з'єднує вихід системи зі входом. Передавальна функція замкненої системи $W_s(p)$ за залежністю (11.22) має вигляд

$$W_s(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)W_0(p)}. \quad (11.23)$$

Розглянемо алгоритмічну структурну схему складної системи (рис. 11.7), спочатку визначимо передавальну функцію групи паралельно з'єднаних елементів за формулою

$$W_{1-3}(p) = W_1(p) + W_2(p) + W_3(p). \quad (11.24)$$

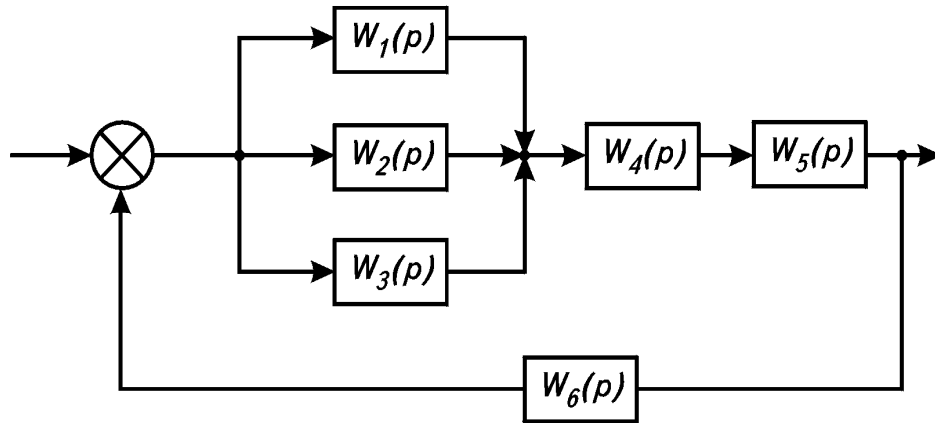


Рисунок 11.7 – Алгоритмічна структурна схема складної системи

Потім визначимо передавальну функцію послідовно з'єднаних елементів

$$W_{1-5}(p) = W_{1-3}(p)W_4(p)W_5(p). \quad (11.25)$$

Загальна передавальна функція системи дорівнює

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{W_{1-5}(p)}{1 + W_{1-5}(p)W_6(p)}. \quad (11.26)$$

Розділ 12. Характеристики автоматичних систем

12.1. Класифікація АСР

Під час автоматизації технологічних процесів використовуються різні АСР, які можна класифікувати за різними ознаками. За алгоритмом управління автоматичні системи поділяються на *розімкнені*, у яких вхідні дії надходять зовні, і *замкнені*, у яких вхідні дії надходять не тільки зовні, але й із самої системи. У розімкнених системах відсутній зв'язок між виходом і входом. До них належить системи, у яких алгоритм управління задається жорсткою програмою, що забезпечує виконання управляючої дії без урахування умов фактичного перебігу процесу (наприклад, системи управління посудомийними машинами періодичної дії). До розімкнених систем належать також АСР зі збурення (див. рис. 9.1). У замкнених АСР вихід системи з'єднується з входом за допомогою зворотного зв'язку (АСР за відхиленням).

За законом зміни завдання під час регулювання автоматичні системи можна поділити на стабілізуючі, програмні та слідкувальні.

Стабілізувальні системи призначені, щоб підтримувати постійне значення регульованої змінної. Це, наприклад, системи стабілізації температури в теплових шафах; сковородах або рівня в кип'ятильниках безперервної дії та ін. Задане значення регульованого параметра в системах цього типу є постійною величиною. Головним збуренням у системах автоматичної стабілізації є зовнішні збурення, які звичайно діють на об'єкт регулювання.

Програмні системи здійснюють регулювання за деякою заздалегідь відомою залежністю. Програмний задавач змінює завдання з плином часу відповідно до програми. Наприклад, у процесі регулювання необхідно змінювати температуру в об'єкті. Головною збурюючою дією для систем програмного регулювання є зміна заданого значення регульованої величини.

У *слідкувальних системах* задане значення регульованої змінної заздалегідь не відоме і є випадковою функцією часу. Системи слідкувального регулювання широко застосовуються в автоматичних контрольно-вимірювальних приладах – автоматичних мостах та потенціометрах. До них також належать усі системи регулювання співвідношення двох величин, наприклад витрат двох продуктів, де будь-яка зміна однієї потребує такої зміни завдання в іншій, щоб їх співвідношення лишилося незмінним.

За видом елементів, що входять до АСР, розрізняють *лінійні* й *нелінійні* системи. Лінійною система буде в тому разі, коли вона охоплює тільки лінійні елементи. Включення до АСР хоча б одного нелінійного елемента перетворює систему на нелінійну.

Залежно від кількості контурів замкнені АСР поділяються на одноконтурні та багатоконтурні. *Одноконтурні* системи мають лише один – головний зворотний зв'язок, за допомогою якого замикається система. У *багатоконтурних* системах крім головного можуть бути додаткові або місцеві зворотні зв'язки, які поліпшують динамічні властивості системи.

За особливостями реакції АСР на сталі збурюючі дії розрізняють *статичні* та *астатичні* системи. У статичних системах існує певна залежність між сталим значенням регульованої змінної та рівнем збурюючої дії на об'єкт регулювання. У астатичних системах регульована зміна в усталеному режимі від різних значень прикладених дій не залежить.

12.2. Сталий режим

Сталий режим роботи автоматичних систем має місце за умов постійного значення збурюючих та управляючих дій на процес. Розглянемо характеристики статичних та астатичних систем у цьому режимі.

Прикладом статичного регулювання може бути регулятор рівня рідини в резервуарі (рис. 12.1, а). Поплавок $П$, який контролює рівень рідини h у резервуарі P , зв'язаний через важіль із заслінкою $З$, що регулює приплив рідини в бак. Витрату Q рідини можна змінити за допомогою вентиля $В$. Якщо приплив

і витрата рідини однакові, то в резервуарі встановлюється постійний рівень h . Зі зміною витрати Q рівень рідини також змінюється і відповідно йому змінить своє положення заслінка. Таким чином, зі зміною витрати від Q_{\min} до Q_{\max} регульований параметр змінюється від h_{\max} до h_{\min} (рис. 12.1, б). Залежність рівня рідини h (регульований параметр) від витрати Q (збурююча дія) є статичною характеристикою цієї системи.

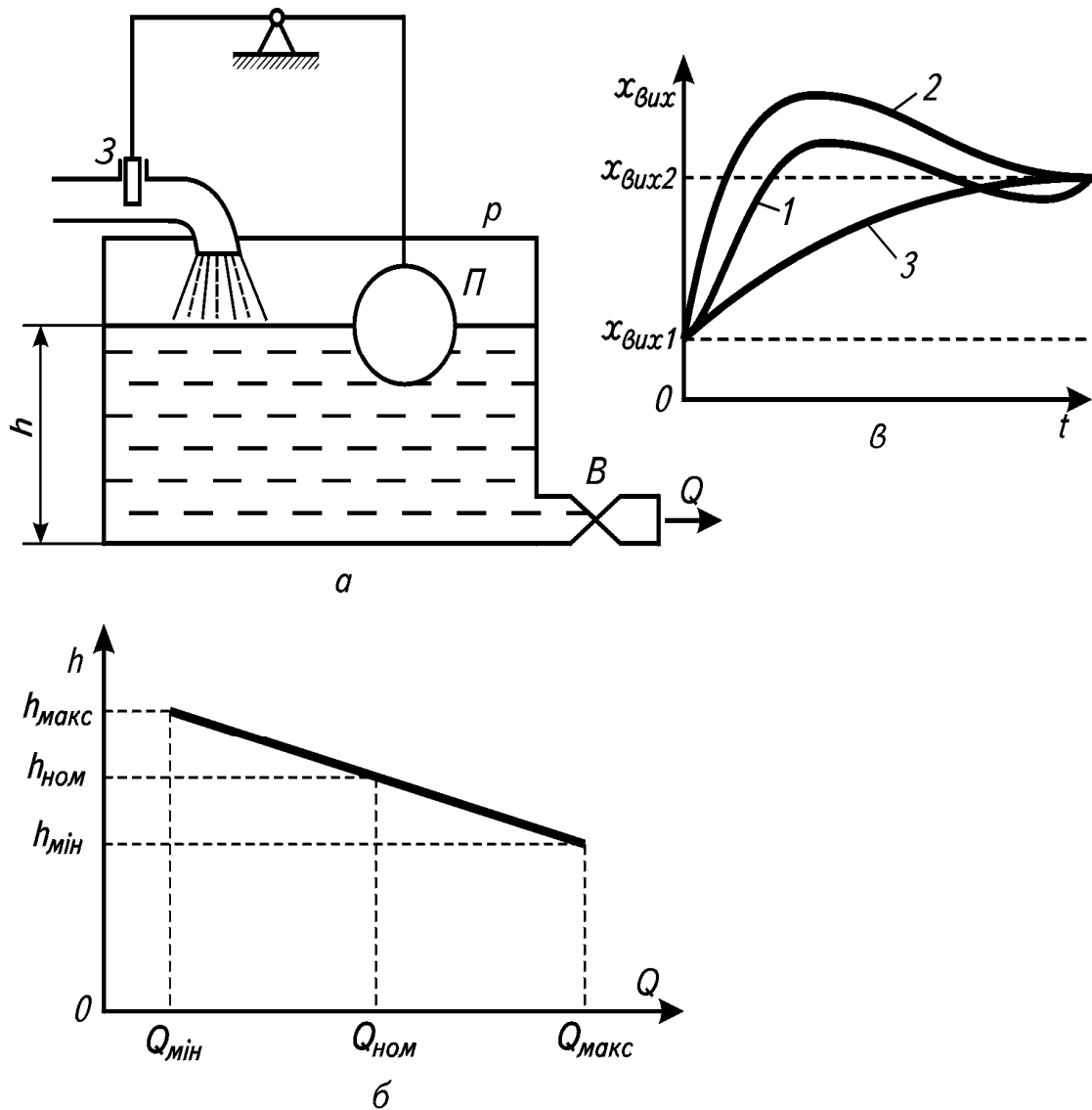


Рисунок 12.1 – Статичний регулятор рівня:
а – регулятор; б – залежність регульованого параметра від збурюючої дії;
в – перехідний процес у статичному регуляторі

Абсолютна статична похибка регулювання дорівнює різниці між будь-якими сталим h і заданим $h_{\text{зад}}$ значеннями рівня

$$\Delta h = h - h_{\text{зад}}, \quad (12.1)$$

де $h_{\text{зад}} = (h_{\max} - h_{\min}) / 2$.

Відносна статична похибка системи (статизм) визначається таким чином:

$$S = (h_{\text{макс}} - h_{\text{мін}}) / h_{\text{зад}}. \quad (12.2)$$

Коефіцієнт статизму системи визначається за статичною характеристикою

$$K_{\text{сп}} = \frac{h_{\text{макс}} - h_{\text{мін}}}{Q_{\text{макс}} - Q_{\text{мін}}} = \text{tg} \alpha. \quad (12.3)$$

Чим більший кут нахилу статичної характеристики, тим більша стала похибка в системі.

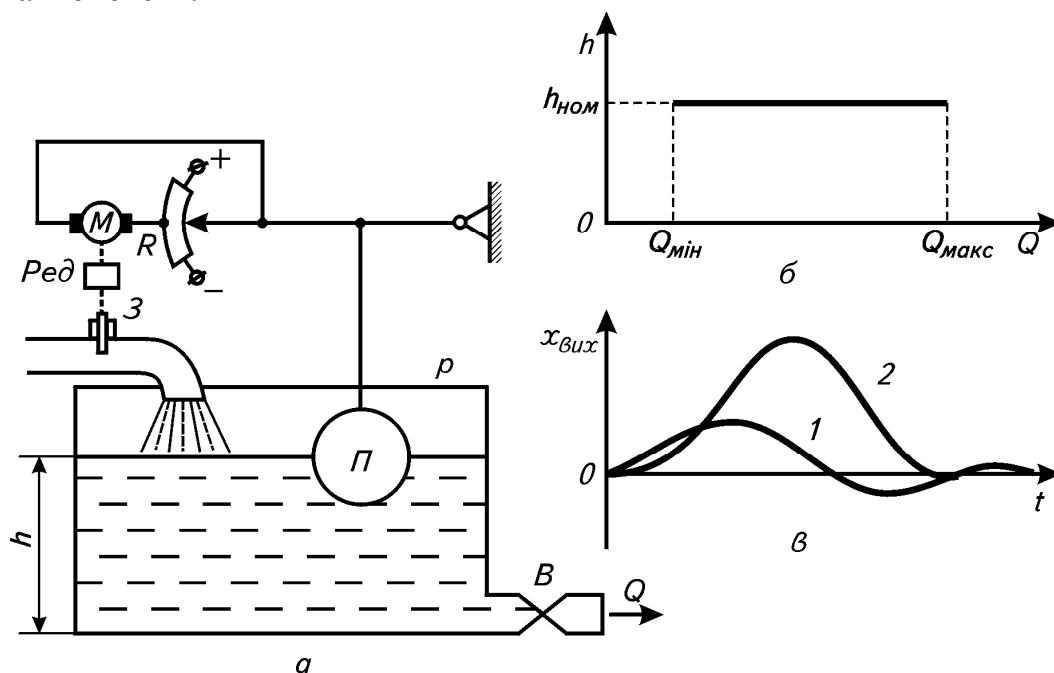


Рисунок 12.2 – Астатичний регулятор рівня:
а – регулятор; б – залежність регульованого параметра від збурюючої дії;
в – перехідний процес у астатичному регуляторі

У статичній системі за різних постійних збурюючих дій на об'єкт, зокрема різного навантаження, регульована змінна змінює своє значення пропорційно до збурюючої дії. При цьому стає відхилення регульованої змінної залежить від постійної збурюючої дії. У статичних системах відсутня залежність між величиною збурення і значенням регульованої змінної в сталому режимі. У цих системах стан рівноваги можливий тільки тоді, коли регульований параметр дорівнює заданому значенню.

Прикладом астатичної системи може бути регулятор рівня рідини в резервуарі (рис. 12.2, а), у якого поплавок Π механічно поєднується з повзуном потенціометра R , через який живиться коло якоря електродвигуна M .

Електродвигун через редуктор переміщує заслінку $З$. У стані рівноваги,

коли приплив рідини в резервуар дорівнює витраті, повзун потенціометра знаходиться в середньому положенні. За будь-якої зміни витрати в сталому режимі рівень рідини h залишається постійним (рис. 12.2, б). Отже, статизм у астатичній системі відсутній. Підвищення точності досягається за допомогою введення інтегрувальної ланки (електродвигун).

12.3. Перехідний процес у АСР

У разі дії на вхід об'єкта збурення на його виході з'являється відхилення регульованої змінної та починає працювати автоматичний регулятор, тобто в замкненій системі має місце перехідний процес. Він може бути аперіодичним, коливальним згасаючим, коливальним незгасаючим із постійною амплітудою та коливальним зі зростаючою амплітудою (рис. 12.3).

За умов аперіодичного перехідного процесу (рис. 12.3, а) регульована величина змінюється плавно і прямує до стану рівноваги, не виходячи за його межі. Такі процеси можуть мати велику тривалість. За умов коливального згасаючого процесу (рис. 12.3, б) регульована змінна прямує до сталого значення, здійснюючи коливання з амплітудою, що поступово зменшується. Якщо під час перехідного процесу мають місце коливання зі зростаючою амплітудою (рис. 12.3, в), то така система непрацездатна, бо з часом відхилення регульованої змінної від заданого значення не зменшується, а зростає. Такі АСР називаються *нестійкими*.

Якщо в системі виникає перехідний коливальний процес із постійною амплітудою коливань (рис. 12.3, г), то така АСР знаходиться на межі стійкості. Вона також непрацездатна. До *стійких* АСР належать системи, у яких відбуваються тільки аперіодичні або коливальні згасаючі перехідні процеси.

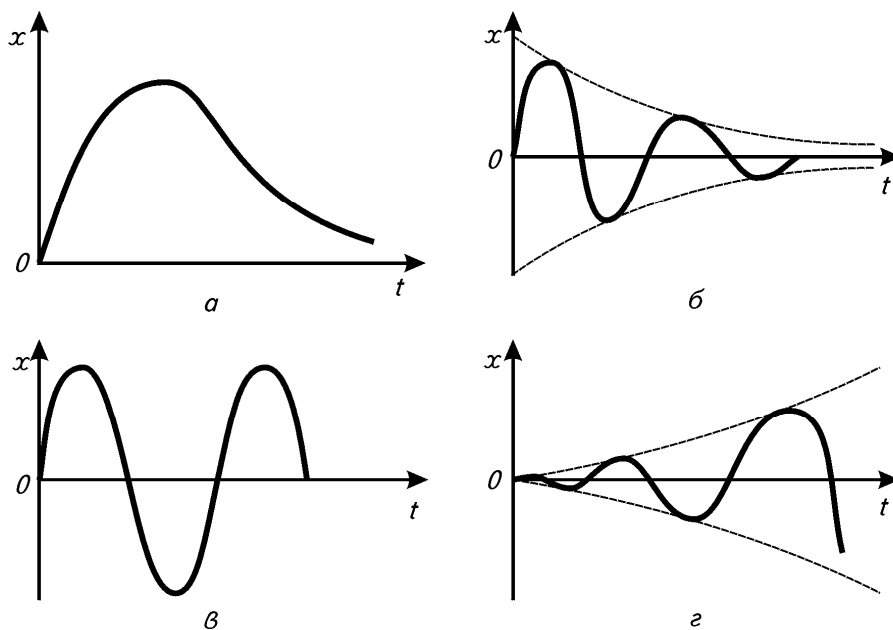


Рисунок 12.3 – Графіки перехідних процесів:

а – аперіодичний; б – коливальний згасаючий; в – коливальний незгасаючий;
г – коливальний зростаючий

Характер перехідного процесу залежить від зовнішніх збурень і від властивостей самої системи. Перехідний процес у системі можна показати двома складовими, одна з яких $x_c(t)$ характеризує власні властивості системи, а друга $x_e(t)$ – вплив збурюючих дій:

$$x_{eux}(t) = x_c(t) + x_e(t). \quad (12.4)$$

Система буде стійкою, якщо перехідна складова системи $x_c(t)$ із часом прямуватиме до нуля. Отже, висновок про стійкість системи можна зробити шляхом розв'язання диференційного рівняння системи. Але розв'язання диференційного рівняння високого порядку – це складне завдання, тому використовують спеціальні критерії, які дозволяють визначити стійкість системи без розв'язування рівняння системи.

Розглянемо алгебраїчний критерій стійкості Рауса–Гурвіца.

Лінійне диференційне рівняння системи має вигляд

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n x_{eux}}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x_{eux}}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx_{eux}}{dt} + a_n x_{eux} = \\ = b_0 \frac{d^m x_{ex}}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x_{ex}}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dx_{ex}}{dt} + b_m x_{ex}, \end{aligned} \quad (12.5)$$

де x_{ex} і x_{eux} – вхідна та вихідна величини відповідно; $a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m$ – постійні коефіцієнти цього рівняння.

В операторній формі рівняння (12.5) має такий вигляд:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = b_0 p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m. \quad (12.6)$$

Якщо зовнішні дії відсутні, рівняння (12.6) набуває вигляд

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (12.7)$$

Рівняння (12.7) називається характеристичним.

Критерій Рауса–Гурвіца дає змогу визначити стійкість системи, аналізуючи коефіцієнти характеристичного рівняння цієї системи. Для цього з коефіцієнтів характеристичного рівняння (12.7) складають головний визначник Гурвіца

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}. \quad (12.8)$$

За головною діагоналлю вписують коефіцієнти від a_1 до a_n . Колонки від елементів головної діагоналі вгору доповнюють коефіцієнтами з послідовно зростаючими індексами, униз – з убуючими індексами. Усі вільні місця заповнюють нулями.

З головного визначника Δ_n послідовним викреслюванням верхніх рядків та лівих стовпців одержують ще $n-1$ визначник. Система буде стійкою, якщо при $a_n > 0$ всі визначники додатні:

$$\Delta_{n-1} > 0; \Delta_{n-2} > 0; \Delta_{n-3} > 0; \dots; \Delta_1 > 0; \Delta_0 > 0. \quad (12.9)$$

Умова (12.9) є необхідною і достатньою. Розглянемо приклади визначення стійкості для найпростіших систем.

$$1. a_0 p + a_1 = 0 \text{ та } a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0,$$

умова стійкості: додатність усіх коефіцієнтів характеристичного рівняння.

$$2. a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0,$$

умова стійкості: $a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0; a_1 a_2 > a_0 a_3$.

$$3. a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0,$$

умова стійкості: $a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0, a_4 > 0; a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 > 0$.

Стійка автоматична система повинна забезпечувати певну якість регулювання, тобто задовольняти вимогам, що характеризують роботу системи як у перехідному процесі, так і в сталому режимі. Якість регулювання зазвичай оцінюють за кривою перехідного процесу за умов стрибкоподібного збурення. Розглянемо основні показники якості регулювання в статичній системі (рис. 12.4).

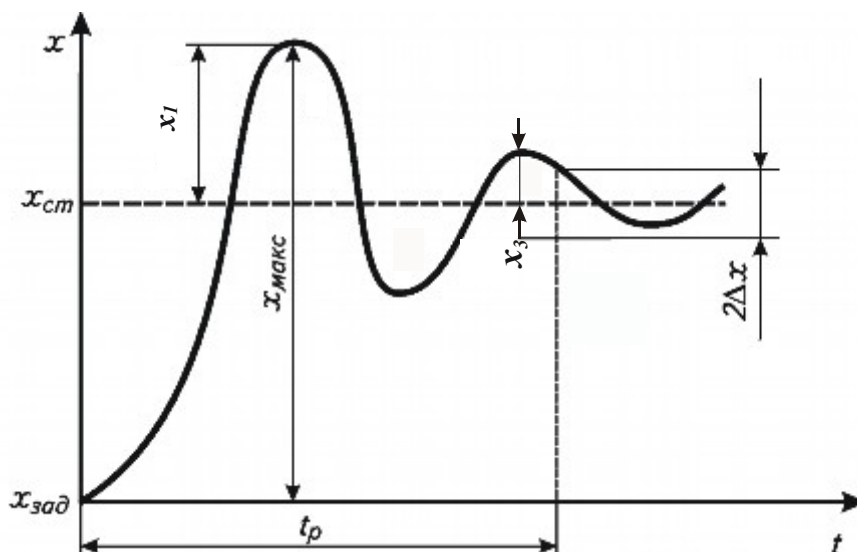


Рисунок 12.4 – Коливальний перехідний процес у статичній системі

Динамічна похибка x_{\max} являє собою найбільше відхилення регульованого параметра від заданого значення в перехідному процесі.

Статична похибка $x_{\text{ст}}$ дорівнює відхиленню регульованої змінної від заданого значення після закінчення перехідного процесу. Має місце тільки в статичних АСР.

Час регулювання t_p – це тривалість перехідного процесу, після закінчення якого відхилення регульованої величини від усталеного значення стає меншим, ніж задана величина Δx . Час регулювання характеризує швидкодію системи.

Коливальність перехідного процесу характеризує інтенсивність згасання коливань за час регулювання. Кількісною оцінкою інтенсивності згасання є ступінь згасання

$$\Psi = (x_1 - x_3) / x_1. \quad (12.10)$$

Для стійких АСР $0 < \Psi \leq 1$, тобто чим вищий ступінь згасання, тим стійкість АСР вища. Наприклад, у найбільш стійких АСР $\Psi \geq 1$ і виникає аперіодичний процес (див. графік 3 на рис. 12.1, в).

Перехідний процес визначається параметрами системи регулювання і характером регулюючих та збурюючих дій. Змінюючи параметри та структуру АСР, можна досягти потрібних за вимогами до ведення технологічного процесу показників якості.

Розділ 13. Автоматичні регулятори

13.1. Структура автоматичного регулятора

Автоматичний регулятор має забезпечувати необхідну якість регулювання. Регулятори підбираються з урахуванням властивостей об'єктів регулювання.

Найбільш важливою характеристикою регулятора є *закон регулювання*, що показує, яким чином здійснюється регулююча дія μ регулятора на об'єкт залежно від відхилення регульованого параметра Δx . За характером регульованої дії розділяють регулятори безперервної та дискретної дій. У регуляторів безперервної дії (аналогових) регулююча дія здійснюється безперервно за відповідної зміни відхилення регульованого параметра. Регулятори дискретної дії змінюють регулюючу дію тільки з досягненням регульованим параметром певних заданих значень.

Розглянемо структурну схему автоматичного регулятора (рис. 13.1). На елемент порівняння (ЕП) надходять сигнали заданого $x_{\text{вх}}$ та дійсного $x_{\text{вих}}$ значень регульованої змінної (тобто сигнали від задавача та вимірювального елемента). Сигнал відхилення (розузгодження) $\Delta x = x_{\text{вх}} - x_{\text{вих}}$ передається на блок, який містить підсилювач сигналу ПС, вузол управління (ВУ), за допомогою

якого формується управляючий сигнал згідно з законом регулювання, та ланцюг від'ємного зворотного зв'язку (ЛЗЗ). ЛЗЗ може бути підсилювачем або більш складним елементом.

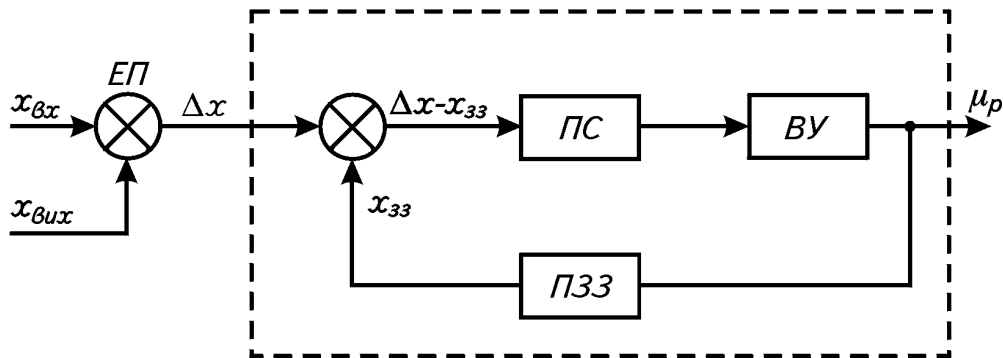


Рисунок 13.1 – Структурна схема автоматичного регулятора

13.2. Позиційні регулятори

Позиційні регулятори належать до регуляторів дискретної дії, у яких регулююча дія змінюється дискретно залежно від рівня вхідного сигналу. Регулювальний орган (РО) у такої АСР може займати кілька фіксованих положень (позицій) за певних значень відхилення регульованого параметра. Залежно від кількості позицій РО розрізняють дво-, три- і чотирьохпозиційні регулятори.

У найпростішого і найпоширенішого двопозиційного регулятора РО може займати тільки два положення – відкрите або закрите, причому перехід із одного положення в інше відбувається майже миттєво. Статичну характеристику двопозиційного регулятора показано на рис. 13.2. Якщо регульована величина досягає значення $x_{зад} + \delta$, РО перемикається ($\mu = 0$) та припиняє подачу енергії або речовини на об'єкт; зі зменшенням параметра до $x_{зад} - \delta$ РО знову здійснює подачу енергії на об'єкт ($\mu = 1$). Величину δ називають зоною нечутливості регулятора, тобто РО вмикається та вимикається з відхиленням параметра від заданого значення на величину δ .

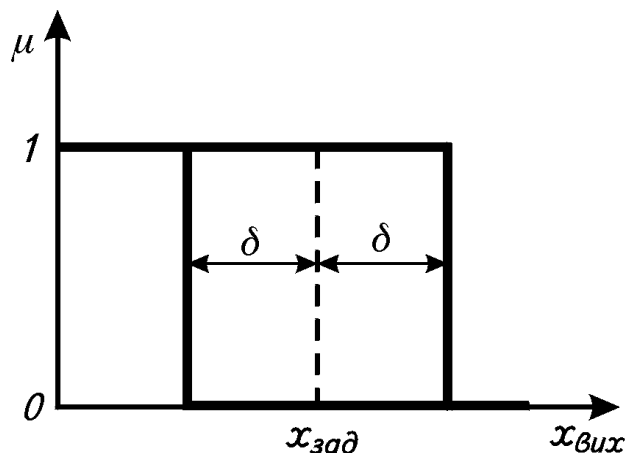


Рисунок 13.2 – Статична характеристика двопозиційного регулятора

Перехідний процес під час двопозиційного регулювання в статичному об'єкті показано на рис. 13.3. На верхньому графіку показано зміну регульованого параметра $x_{вих}$ відносно заданого значення x_3 , на нижньому – зміну регулюючої дії μ (для теплових об'єктів – зміна припливу тепла Q_{np}). Якщо величина $x_{вих}$ нижче заданої x_3 , регулятор виробляє сигнал $\mu=1$, що приводить до збільшення $x_{вих}$. Із досягненням параметром значення $x_3+\delta$ регулююча дія стрибкоподібно зменшується до $\mu=0$, унаслідок інерційності системи ще деякий час продовжує зростати, а потім починає зменшуватись. Як тільки параметр досягає значення $x_3-\delta$, регулятор знову вмикається. Таким чином, регульована змінна здійснює незгасаючі коливання з амплітудою x_a та періодом T_a відносно заданого значення. Такий процес регулювання називається *автоколивальним*. Параметри автоколивань залежать від зони нечутливості регулятора, динамічних властивостей об'єкта та його навантаження. Зміна параметра в межах зони нечутливості не призводить до зміни регулюючої дії, тому збільшення зони нечутливості δ викликає збільшення амплітуди та періоду автоколивань. При цьому точність регулювання знижується, але спрацювання регулювальних органів менше, бо вони рідше перемикаються. Більш плавним регулювання можна зробити, використовуючи багатопозиційні регулятори.

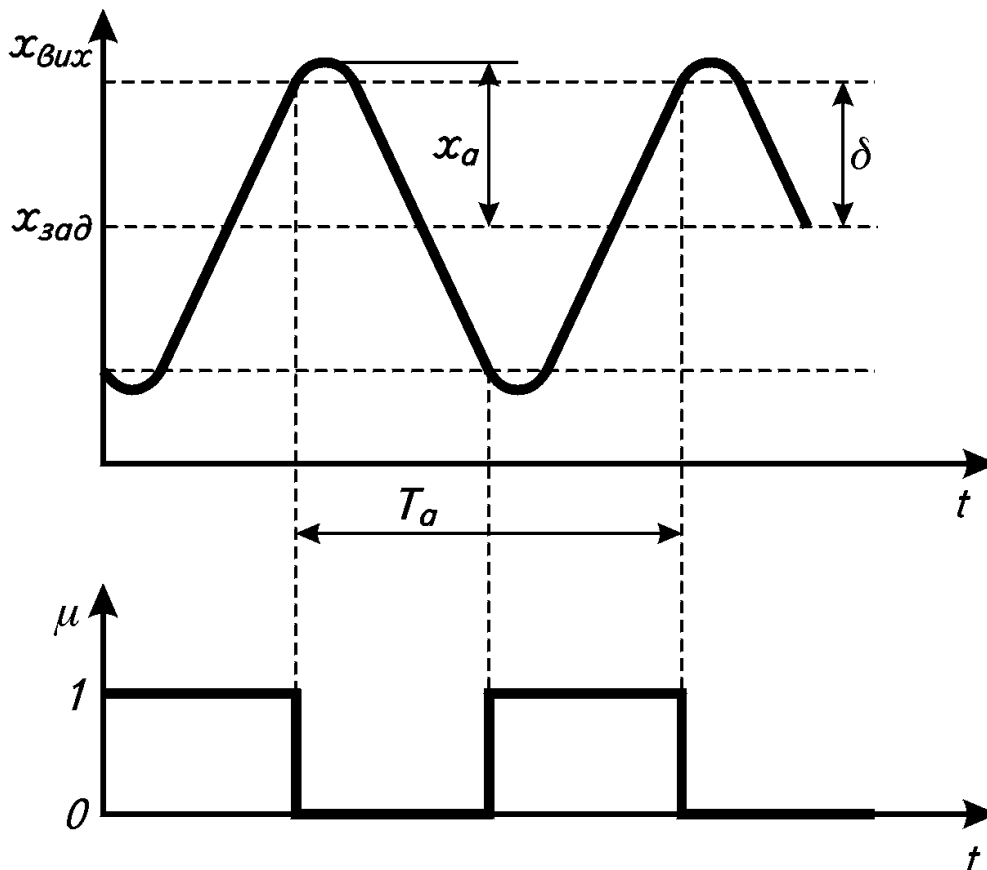


Рисунок 13.3 – Перехідний процес та зміна регулюючої дії у двопозиційній АС

Позиційні (релейні) регулятори встановлюються на об'єктах із високою ємністю, коли не вимагається висока точність регулювання.

13.3. Регулятори безперервної дії

За видом закону регулювання регулятори безперервної дії розподіляються на пропорційні (П-регулятори), інтегральні (І-регулятори), пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори), пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД-регулятори).

Пропорційні регулятори. У регуляторів пропорційної дії (П-регулятори) положення регульовального органу пропорційне відхиленню регульованої величини від заданого значення. Закон регулювання П-регулятора має вигляд

$$\mu = k_p \Delta x, \quad (13.1)$$

де k_p – коефіцієнт передачі регулятора, який є параметром його налаштування.

У П-регуляторів існує жорстка залежність між зміною вхідної та вихідної величин регулятора, задане значення регульованої величини може бути забезпечене лише для одного значення навантаження. Ця властивість статичних регуляторів (див. п. 12.2) призводить до виникнення статичної похибки зі зміною навантаження об'єкта, тобто в кінці процесу регулювання регульована змінна не дорівнює заданому значенню.

Статична похибка регулятора тим більша, чим менший коефіцієнт передачі k_p , але збільшувати коефіцієнт передачі можна до певної міри, бо регулятор може перетворитися на позиційний, тобто за певних відхилень від заданого значення буде повністю відкриватись або закриватись. У динамічному відношенні П-регулятор є підсилюючою ланкою. За умов стрибкоподібної зміни вхідної величини регулятора Δx вихідна величина (регулююча дія) μ зміниться також стрибкоподібно (рис. 13.4, а, б). Перевагою П-регулятора є його швидкодія, а недоліком – наявність залишкового відхилення регулюючого параметра, тому П-регулятори використовуються з об'єктами за невеликих змін навантаження, якщо час регулювання має бути невеликим, а технологічний процес припускає наявність статичної похибки.

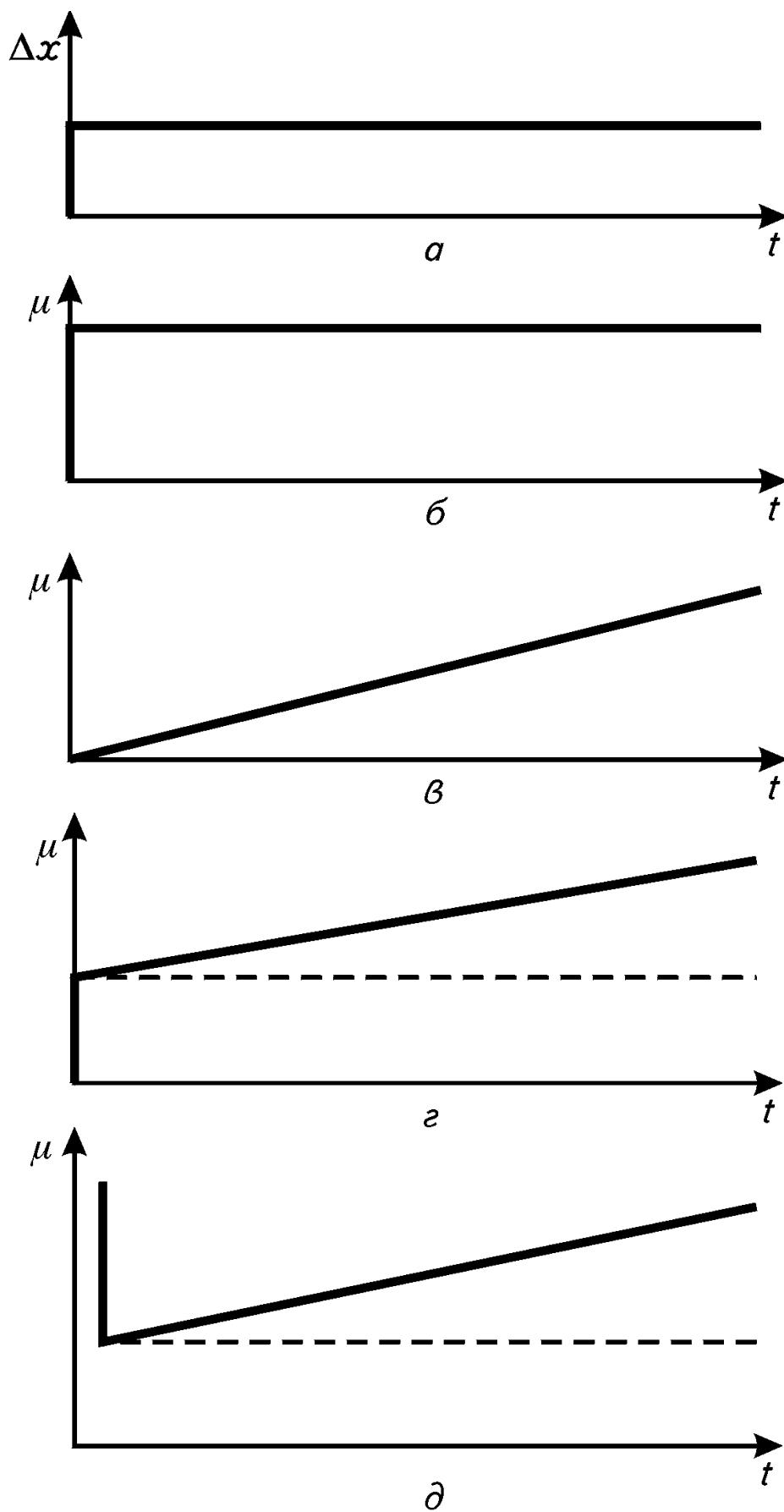
Інтегральні регулятори. Управляюча дія І-регулятора пропорційна інтегралу відхилення від регульованої величини

$$\mu = \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt, \quad (13.2)$$

де T_i – стала інтегрування, що є параметром налаштування регулятора.

Продиференціюємо рівняння (13.2) і отримаємо

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{\Delta x}{T_i}. \quad (13.3)$$



Рисування 13.4 – Криві розгону регуляторів безперервної дії

З рівняння (13.3) видно, що швидкість переміщення регульовального органу І-регулятора пропорційна відхиленню регульованої величини. Регулююча дія триває доти, доки регульована змінна не повернеться до заданого значення. Таким чином, використання І-регулятора приводить до ліквідації статичної похибки. Прикладом І-регулятора може бути астатичний регулятор рівня рідини (рис. 12.2, а). У динамічному відношенні І-регулятор є інтегральною ланкою. Криву розгону регулятора показано на рис. 13.4, в. Недоліком інтегральних регуляторів є уповільненість їх дії, тому вони можуть застосовуватись на об'єктах із малим запізненням за повільних змін навантаження. Використання І-регуляторів на інерційних об'єктах може призвести до втрати системою стійкості.

Пропорційно-інтегральні регулятори являють собою сукупність пропорційного та інтегрального регулятора. Регулююча дія регулятора пропорційна відхиленню регульованої змінної та інтеграла від відхилення

$$\mu = k_p \left(\Delta x + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt \right), \quad (13.4)$$

де T_i – постійна інтегрування або час ізодрома; k_p та T_i – параметри налаштування регулятора.

У динамічному відношенні ПІ-регулятор складається з П- та І-регуляторів, з'єднаних між собою паралельно. Криву розгону регулятора показано на рис. 13.4, г. Під час появи відхилення Δx регулююча дія μ спочатку швидко зміниться на величину $k_p \Delta x$, а потім буде змінюватись у тому ж напрямку з постійною швидкістю, яка залежить від часу ізодрома T_i , доти доки регульована змінна досягне заданого значення, тобто залишкове відхилення відсутнє. ПІ-регулятори – це одні з найпоширеніших регуляторів безперервної дії. Вони застосовуються тоді, коли необхідна висока точність регулювання, для астатичних об'єктів, а також на статичних об'єктах із великим запізненням, коли збурення змінюються повільно.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор. Регулююча дія в ПІД-регуляторі пропорційна відхиленню регульованої змінної, інтеграла та диференціала від нього

$$\mu = k_p \left[\Delta x + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt + T_d \frac{d(\Delta x)}{dt} \right], \quad (13.5)$$

де T_d – стала часу диференціювання.

Процес регулювання в системі з ПІД-регулятором почнеться вже під час появи сигналу про прискорення зміни відхилення, тобто регулююча дія виробляється ніби заздалегідь, не чекаючи значного відхилення. Завершується дія регулятора лише після ліквідації відхилення (рис. 13.4, д). Параметрами налаштування регулятора є коефіцієнт передачі регулятора k_p , час ізодрома T_i та

стала часу диференціювання T_d . ПД-регулятори зазвичай установлюють на інерційних об'єктах із великим запізненням, у яких різко змінюється навантаження.

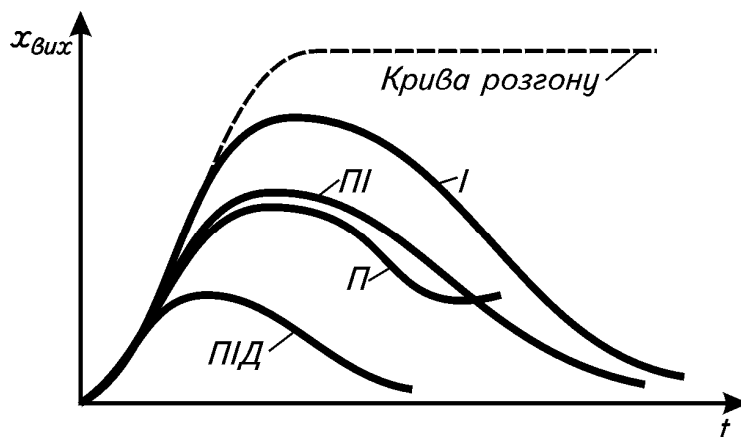


Рисунок 13.5 – Перехідні процеси в АСР із застосуванням різних законів регулювання

На рис. 13.5 показано криві зміни регульованого параметра на одному й тому ж самому статичному об'єкті за умов дії різних регуляторів.

13.4. Розробка автоматичних систем регулювання

Загальні вимоги до АСР такі: АСР повинна бути стійкою, час перехідного процесу має бути мінімальним, статична та динамічна не повинні перевищувати певного значення, ступінь згасання має бути високим. Одночасно забезпечити всі ці вимоги неможливо, тому зазвичай виходять із технологічних вимог до точності підтримки регульованої величини. Динамічні властивості системи залежать від характеристик об'єкта та регулятора, але якщо властивості об'єкта змінювати складно, то забезпечити необхідну якість регулювання можна, підбираючи певний тип регулятора і змінюючи параметри його настроювання. Проектування системи з попередньо заданими властивостями називається *синтезом* АСР. Дослідження існуючої системи та визначення, якою мірою вона забезпечує вимоги, які до неї висувають, називається *аналізом* автоматичної системи.

Проектування АСР здійснюється в такій послідовності:

1. На основі аналізу властивостей об'єкта визначають взаємозв'язок між його вхідними та вихідними величинами; регульовані параметри; управляючі та збурюючі дії.
2. Установлюють показники якості регулювання на основі технологічних вимог до даного процесу.
3. Обирають тип регулятора та розраховують параметри його настроювання.
4. Здійснюють аналіз відповідності отриманого перехідного процесу вимогам до якості регулювання.

5. Якщо в одноконтурній АСР не вдається досягти прийнятної якості регулювання, використовують багатоконтурні системи регулювання: комбіновані, каскадні та ін.

Аналіз статичних характеристик об'єкта за каналами збурюючої та управляючої дій дозволяє виявити, чи буде наявна в АСР статична похибка. Статична похибка може бути відсутня в АСР за умови

$$k_y \mu_{\max} \geq k_z \lambda_{\max}, \quad (13.6)$$

де k_y , k_z – коефіцієнти передачі об'єкта по каналах управляючої та збурюючої дій відповідно; μ_{\max} – максимально можлива зміна управляючої дії; λ_{\max} – збурення, що приводить до найбільшого відхилення регульованої величини.

Якщо умова (13.6) не виконується, це означає, що в статиці відхилення величини внаслідок збурення перевищує можливості АСР з ліквідації цього відхилення.

Так само оцінюють вплив сталих часу і запізнень на процес регулювання. Мала стала по каналу збурення T_z призводить до швидкого відхилення регульованої величини. Якщо управляюча дія на об'єкт надходить із значним запізненням, це може призвести до великих динамічних похибок. Отже, чим більший коефіцієнт передачі об'єкта по каналу управління та чим менші запізнення і стала часу по цьому ж каналу, тим краща якість процесу регулювання.

Отже, для вибору типу регулятора потрібно визначити динамічні параметри об'єкта k , T , τ , вимоги до якості регулювання x_{\max} , $x_{ст}$, t_p ; максимальне збурення $\Delta\lambda$ у процесі експлуатації об'єкта.

Вибір регулюючої дії здійснюється за співвідношенням запізнення τ та сталої часу T об'єкта: за умови $\tau/T \leq 0,2$ обирають позиційний регулятор; якщо $\tau/T > 0,2$, – безперервної дії.

Параметри налаштування регуляторів безперервної дії розраховують за номограмами або наближеними формулами з урахуванням прийнятого виду перехідного процесу.

Контрольні запитання до частини III

1. Дайте порівняльну характеристику основних принципів регулювання: за збуренням, відхиленням, комбінованого.
2. Назвіть методи визначення характеристик об'єктів регулювання.
3. Покажіть застосування графоаналітичного методу лінеаризації статичних характеристик.
4. Наведіть основні характеристики та властивості об'єктів управління: самовирівнювання, ємність, запізнення.

5. Наведіть математичні моделі та основні характеристики типових динамічних ланок: аперіодичної, коливальної, із запізненням.
6. Наведіть класифікацію автоматичних систем регулювання.
7. Дайте порівняльну характеристику статичних і астатичних АСР.
8. Як досліджують стійкість АСР?
9. Назвіть основні показники якості перехідних процесів.
10. Наведіть характеристики основних законів регулювання.
11. Які особливості роботи системи двопозиційного регулювання?
12. Які початкові дані необхідні для вибору автоматичного регулятора?

Частина IV. Автоматизація технологічних процесів

Розділ 14. Проектування систем автоматизації технологічних процесів

14.1. Етапи проектування та склад проектної документації

Основним завданням систем автоматизації технологічних процесів є визначення доцільного рівня та обсяг автоматизації. Проектна документація на системи автоматизації виробничих процесів виконується відповідно до державних та галузевих стандартів.

Проекти систем автоматизації виконуються на основі завдання на проектування, яке складається замовником. Завдання на проектування повинно містити такі дані: найменування підприємства; підставу для проектування; перелік відділень, цехів, апаратів та агрегатів, що автоматизуються; етапи проектування, технологічні схеми виробництва за окремими видами продукції з переліком основного обладнання та комунікацій; номенклатуру параметрів, що контролюються та регулюються із зазначенням їх номінальних значень та допустимої точності вимірювання; показники якості за кожним параметром, що регулюється (час регулювання, максимальне динамічне відхилення, ступінь згасання); креслення виробничих приміщень із зазначенням місця розташування технологічного обладнання та комунікацій, а також щитів і пультів управління; схеми енергопостачання та управління електроприводів; схеми водопостачання та повітропостачання; особливі умови (вибухо- та пожежонебезпека приміщень та ін.).

Проектування систем автоматизації проводиться у два етапи: технічний проект та робоча документація. Для об'єктів із простим технологічним процесом або з повторним використанням індивідуального проекту, проектування проводять в одну стадію.

Технічний проект повинен містити таку документацію: схеми автоматизації технологічних процесів, плани розташування щитів, пультів та засобів обчислювальної техніки; заявочні відомості приладів та засобів автоматизації, засобів обчислювальної техніки, щитів, пультів, електроапаратури, монтажних виробів та ін.; пояснювальну записку.

На стадії виконання робочих креслень здійснюють уточнення та деталізацію рішень. На цій стадії розробляють принципи електричної та пневматичної схем контролю, автоматичного регулювання, управління, сигналізації та живлення; загальні вигляди щитів та пультів; схеми зовнішніх електричних та трубних мереж; замовлені специфікації приладів, засобів автоматизації та обчислювальної техніки, електроапаратури, монтажних матеріалів тощо.

Для скорочення термінів проектування, зниження його вартості та підвищення якості проектної документації використовуються системи автоматичного проектування (САПР) систем автоматизації. При цьому під САПР мають на увазі набір обчислювальних програм для ЕОМ, які забезпечують розв'язання завдань на різних етапах проектування. Наприклад, розрахунок елементів і засобів автоматизації, аналіз і синтез АСР, часткове оформлення графічного та текстового матеріалу проекту.

14.2. Схеми автоматизації технологічних процесів

Схема автоматизації (СА) є основним технічним документом, що відображає технічні рішення з автоматизації конкретних технологічних процесів та оснащення їх приладами й засобами автоматизації. Під час розробки СА вирішують питання отримання інформації про стан об'єкта управління; контролювання, вимірювання, реєстрацію та сигналізацію технологічних параметрів процесу; регулювання, управління обладнанням; розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах та технологічному обладнанні. Під час проектування СА враховують сучасний рівень автоматизації технологічних процесів галузі, характер технологічного процесу, умови пожежо- та вибухобезпеки, токсичність та агресивність навколишнього середовища; параметри та фізико-хімічні властивості середовища, що вимірюється; відстань від місць розміщення первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів до щитів та пультів управління й контролю; необхідну точність і швидкодію засобів автоматизації.

У СА повинні використовуватися засоби автоматизації, що випускаються серійно; слід прагнути до застосування уніфікованих систем ДСП. Кількість приладів, апаратури управління та сигналізації, що встановлюються на щитах та пультах, має бути обмеженою. Під час проектування СА необхідно передбачити можливість нарощування функцій управління в системі.

СА, в основному, виконується для кожної структурної ділянки виробництва окремо та містить машинно-апаратну схему технологічного процесу, на якій за допомогою умовних позначень зображуються органи управління, прилади та засоби автоматизації, що визначають основні принципи побудови системи автоматичного контролю та управління, а також взаємозв'язки між ними. У верхній частині креслення СА зображують машинно-апаратну технологічну схему. Технологічне обладнання зображується спрощено, умовно, контурами основних вузлів. Ця схема за своїм

розташуванням повинна відповідати машинно-апаратній технологічній схемі із зображенням основних комунікацій, органів управління, електроустаткування та допоміжних пристроїв. Другорядні деталі можна випускати. Зображення технологічного обладнання разом із трубопроводами повинне давати повне уявлення про технологічну схему ділянки виробництва, яка автоматизується. Внутрішні деталі та елементи технологічного обладнання зображують тільки в тому випадку, якщо необхідно показати контакт із ними приладів і засобів автоматизації. Комунікації технологічних трубопроводів зображують залежно від середовища в трубопроводі. Розшифровування умовного позначення середовища дається на полях креслення СА. Якщо на кресленні є кілька трубопроводів з однаковим середовищем, але з різними характеристиками, то до основного цифрового позначення можна додати літерний індекс. У розривах проставляють числовий шифр продукту, що тече по трубопроводах, відповідно до чинного ГОСТ 14202-69 (табл. 14.1), наприклад: вода тепла – 1т, вода гаряча – 1г, вода холодна – 1х тощо.

Таблиця 14.1 – Умовні та цифрові позначення трубопроводів для рідини та газу

Середовище в трубопроводі	Умовне позначення	Колір
Рідина чи газ, що переважають у проекті	Суцільна лінія	Червоний, чорний
Вода	— 1 — 1 —	Зелений
Пара	— 2 — 2 —	Рожевий
Повітря	— 3 — 3 —	Блакитний
Азот	— 4 — 4 —	Темно-жовтий
Кисень	— 5 — 5 —	Синій
Інертні гази: аргон неон гелій криптон ксенон	— 6 — 6 —	—
	— 7 — 7 —	—
	— 8 — 8 —	Фіолетовий
	— 9 — 9 —	—
	— 10 — 10 —	—
Аміак	— 11 — 11 —	Сірий
Кислота (окислювач)	— 12 — 12 —	Оливковий
Луг	— 13 — 13 —	Сіро-коричневий
Масло	— 14 — 14 —	Коричневий
Рідке паливо	— 15 — 15 —	
Горючі і вибухонебезпечні гази:		
водень	— 16 — 16 —	—
ацетилен	— 17 — 17 —	Жовтий
фреон	— 18 — 18 —	—
метан	— 19 — 19 —	—

1	2	3
етан	— 20 — 20 —	—
етилен	— 21 — 21 —	—
пропан	— 22 — 22 —	Оранжевий
пропілен	— 23 — 23 —	—
бутан	— 24 — 24 —	—
бутилен	— 25 — 25 —	—
Протипожежний трубопровід	— 26 — 26 —	Червоний
Вакуум	— 27 — 27 —	Світло-сірий

Напрямок потоку рідини чи газу показують стрілкою. На лініях перетину трубопроводів, що зображують їх з'єднання, ставиться крапка. Відсутність крапки означає відсутність з'єднання трубопроводів.

На технологічних трубопроводах зображують тільки основну регулюючу й запірну арматуру, яка належить до сфери функціонування та обслуговування систем автоматизації, а також ту, що необхідна для визначення відносного розташування пристроїв.

Прилади та засоби автоматизації зображують із використанням ГОСТ 21.404-85Д. Графічні умовні позначення засобів автоматизації виконуються за наступним принципом. У верхній частині кола, що позначає технічний засіб, проставляються літерні позначення вимірюваної чи регульованої величини та функціональної ознаки приладу, у нижній частині – позиційне позначення приладу чи компонента засобу автоматизації (рис.14.1).



Рисунок 14.1 – Умовне зображення приладу для вимірювання, реєстрації та автоматичного регулювання перепаду тиску

Літерні позначення проставляються в такій послідовності: позначення основної вимірюваної чи регульованої величини; позначення, що уточнює (якщо це необхідно) основну вимірювану чи регульовану величину; додаткові умовні позначення; позначення функціональної ознаки приладу (рис. 14.2). Як видно з рис. 14.2, одна й та сама літера може мати різне змістове навантаження, якщо вона знаходиться в різних місцях у позначенні приладу. Якщо прилад виконує кілька функцій, то розташування мірних позначень функціональних ознак має бути таким: I, R, C, S, A. Позначення пристроїв, призначених для ручних операцій, повинні починатися з літери «Н».

Слід мати на увазі, що, користуючись умовними позначеннями приладів згідно з ГОСТ 21.404-85, необхідно звертати увагу не тільки на символ літерного позначення, а й на місце його розташування в позначенні приладу. Якщо один прилад виконує кілька функцій, то розташування літерних позначень функціональних ознак має бути таким: I R C S A. Наприклад, прилад для вимірювання температури із сигнальним пристроєм, що показує, реєструє, правильно позначати так: T I R A.

Порядок розташування функціональних літер змінювати не можна. Позначаючи функціональні ознаки приладів, указують не всі, а лише ті з них, які використовуються в даній схемі (табл. 14.2).

Зображаючи деякі прилади та засоби автоматизації, необхідно зазначити додаткову інформацію, а саме:

1. При позначенні приладів, які виконують функцію сигналізації, граничні значення величин, що сигналізуються, слід конкретизувати додаванням літер «Н» (найвище значення) та «L» (найнижче значення), які проставляються праворуч від графічного зображення приладу.

2. Для конкретизації вимірюваної величини, позначеної, наприклад, літерою «Q» чи «E», праворуч від зображення приладу необхідно зазначити найменування чи символ вимірюваної величини, наприклад: напруга, сила струму, рН тощо.

3. Якщо використовується літера «U» для позначення приладу, що вимірює кілька різнорідних величин, докладне розшифрування цих величин має бути наведене поруч із зображенням приладу або на полі креслення.

4. Написи умовних позначень перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв, що розшифровують вид перетворення чи операції, які виконуються обчислювальним пристроєм, слід робити праворуч від графічного позначення приладу. Основні позначення перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв:

Рід енергії сигналу:

- електричний – E;
- пневматичний – P;
- гідравлічний – C.

Вид форми сигналу:

- аналоговий – A;
- дискретний – D.

ПОЗНАЧЕННЯ ВИМІРЮВАНИХ ВЕЛИЧИН Осьовне значення першої літери

D – густина
 E – будь-яка електрична величина
 F – витрата
 G – розмір, положення, переміщення
 H – ручний вплив
 K – час, часова програма
 L – рівень
 M – вологість
 P – тиск, вакуум
 Q – величина, що характеризує якість, склад концентрацію тощо
 R – радіоактивність
 S – швидкість, частота
 T – температура
 U – кілька різних вимірюваних величин
 V – в'язкість
 W – маса
 X – не рекомендована резервна літера

Додаткові позначення (друга літера), що уточнюють значення першої

S – різниця, перепад
 F – співвідношення, частка, дріб
 I – автоматичне перемикання, обсяг
 Q – інтегрування, підсумовування за часом

ДОДАТКОВІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

E – первинне перетворення (чутливий елемент)
 T – проміжне перетворення (дистанційна передача, у тому числі прилади з дистанційною передачею)
 K – станція управління та прилади, що мають станцію управління
 Y – перетворення, обчислювальні функції

1 2 3 4 5 6

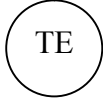
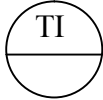

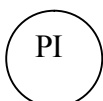



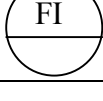
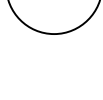
ПОЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ ПРИЛАДОМ






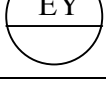
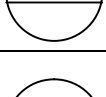
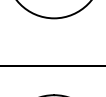
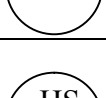
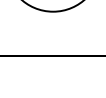
Відображення інформації
 A – сигналізація
 I – показ
 R – реєстрація

Формування вихідного сигналу
 C – регулювання, управління
 S – вмикання, вимикання, перемикач

Рисунок 14.2 – Літерні позначення вимірюваних величин і функцій, що виконуються приладом

Таблиця 14.2 – Приклади побудови умовних позначень окремих приладів та засобів автоматизації

№ з/п	Характеристика приладу	Позначення
1	2	3
1	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання температури, установлений за місцем. Наприклад: термopapa, термометр опору, манометричний термометр тощо	
2	Прилад для вимірювання температури показувальний, реєструвальний, установлений на щиті. Наприклад: логометр, мілівольтметр, манометричний термометр	
3	Прилад для вимірювання температури показувальний, реєструвальний установлений на щиті. Наприклад: автоматичний міст, автоматичний потенціометр	
4	Прилад для вимірювання тиску показувальний, установлений за місцем. Наприклад: манометр, вакуумметр тощо	
5	Прилад для вимірювання перепаду тиску безшкальний, із дистанційною передачею показань, установлений за місцем. Наприклад, дифманометр з дистанційною передачею	
6	Прилад для вимірювання тиску показувальний, із контактним пристроєм, установлений за місцем. Наприклад, реле тиску	
7	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання витрат, установлений за місцем. Наприклад: діафрагма, ротаметр, сопло, датчик індукційного витратоміра тощо	
8	Прилад для вимірювання витрат показувальний, установлений на щиті. Наприклад, індукційний витратомір	
9	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання рівня, установлений за місцем. Наприклад: датчик ємнісного, електричного, поплавкового, буйкового, п'єзометричного рівнеміра тощо	

1	2	3
10	Прилад для вимірювання рівня, безшкальний, сигналізувальний, установлений за місцем. Наприклад, емнісний сигналізатор верхнього та нижнього рівнів	
11	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання якості продукту, установлений на щиті. Наприклад, датчик рН-метра	
12	Прилад для вимірювання кількох різнорідних величин реєструвальний, установлений за місцем. Наприклад, самописний дифманометр-витратомір з додатковим записом тиску	
13	Перетворювач сигналу, установлений на щиті. Вхідний сигнал електричний, вихідний – пневматичний. Наприклад, електропнеumo-перетворювач	
14	Обчислювальний пристрій, що виконує операцію добування кореня. Наприклад, під час вимірювання витрат	
15	Нормувальний перетворювач, що забезпечує передачу інформації на ЕОМ, установлений на щиті	
16	Прилад для управління процесом за часовою програмою, установлений на щиті. Наприклад: КЕП, багатомережне реле часу	
17	Пускова апаратура для управління електродвигуном. Наприклад: магнітний пускач (про використання резервної літери слід зауважити на полі схеми)	
18	Апаратура, призначена для ручного дистанційного управління, установлена на щиті. Наприклад: кнопочна станція, задавач тощо	
19	Ключ управління, призначений для вибору управління, установлений на щиті	

Для позначення величин, не передбачених зазначеним стандартом, можна скористатися резервними літерами латинського алфавіту, що не беруться для позначення першої літери. Величини, що використовуються багаторазово, треба позначати однією й тією самою резервною літерою. Резервні літерні позначення слід розшифрувати на схемі.

У нижній частині кола, що символізує пристрій, наноситься його позиційне значення, яке служить для нумерації пристрою згідно із замовленою специфікацією проекту. Усі засоби автоматизації та їх складові частини нумеруються. Нумерацію виконують зліва направо по схемі з використанням подвійних арабських цифр. Перша цифра в позиційному позначенні приладу є порядковим номером даного комплекту на схемі, а друга – номером елемента в комплекті.

Нумерація елементів виконується в послідовності руху інформації в контурі від первинних перетворювачів до регулювальних органів, наприклад 1-1, 1-2, 1-3 і т.д. Позиційне позначення наноситься в нижній частині кола, що символізує пристрій. Для позиційного позначення електротехнічних засобів можуть використовуватися спеціальні літерні коди, що застосовуються в електричних схемах, основні з яких наведені в табл. 14.2.

У нижній частині поля креслення у вигляді прямокутників зображують місцеві прилади, щити та пульти управління. Вони розташовуються у двох горизонтальних прямокутниках, що мають назви: «Прилади місцеві» (верхній прямокутник) та «Прилади на щиті» (нижній прямокутник). У прямокутнику «Прилади місцеві» зображують усі засоби системи автоматизації, розташовані в місцевому щиті, а також на панелях, розміщених у безпосередній близькості від технологічного обладнання на стінах, колонах тощо. Це вторинні прилади, магнітні пускачі, кнопкові станції. У прямокутниках щитів зображують усі прилади та засоби автоматизації, встановлені на лицьовій панелі та всередині щита. Це перетворювачі, регулятори, апаратура управління та сигналізації.

Взаємозв'язки між окремими приладами показуються суцільними лініями, які слід проводити з найменшою кількістю перегинів та перетинів між собою. Підведення лінії зв'язку до графічного символу приладу дозволяється зображувати в будь-якому місці кола (зверху, знизу, збоку).

Відбірковий пристрій для всіх постійно підключених приладів (манометри, газосигналізатори тощо) не має спеціального позначення. У цьому разі зображується лише лінія зв'язку, що з'єднує трубопровід або апарат, звідки відбирається імпульс із первинним вимірювальним перетворювачем чи приладом. У разі необхідності точне місце розташування відбіркового пристрою або точки вимірювання всередині апарата на кінці лінії зв'язку зображується у вигляді кола діаметром 2 мм. На з'єднувальних лініях біля прямокутників щитів проставляється максимальне робоче значення вимірювальної величини.

У процесі виконання складних СА технологічних процесів для запобігання великої кількості перетинів лінії зв'язку обривають та нумерують. Кінці ліній зв'язку нумеруються однією й тією самою цифрою, що зветься адресою. З боку щитових приладів кінці ліній зв'язку слід нумерувати цифрами в порядку зростання зліва направо.

На всі засоби автоматизації, що використовуються у СА, складається специфікація, у якій зазначається найменування пристрою, його нумерація на

СА, тип, марка, кількість тощо. Специфікація є складовою частиною проекту автоматизації.

14.3. Принципові електричні схеми

Принципові електричні схеми відбивають принцип дії систем автоматичного контролю, регулювання сигналізації та управління, визначають склад елементів схеми та взаємодію між ними, а також способи живлення приладів та засобів автоматизації. На основі принципових схем розроблюються монтажні схеми, креслення фасадів щитів, схеми зовнішніх з'єднань та інші матеріали проекту автоматизації, складаються специфікації електроапаратури. Під час складання принципових електричних схем слід дотримуватися правил: елементи приладів та пристроїв, що діють у різних колах, розташовують незалежно від їх конструктивного зв'язку відповідно до логічної дії схеми; контакти та інші перемикаючі пристрої зображують у нормальному положенні, тобто за відсутності в колі струму; кожному приладу, який застосовується в схемі, надається умовне літерне позначення, що розповсюджується на всі його елементи, зображені на схемі; із застосуванням у схемі декількох однотипних елементів до літерного позначення додається арабська цифра (наприклад: реле K1, K2, K3, та їх контакти K1.1, K1.2, K2.1 тощо); принципові електричні схеми обов'язково повинні містити схеми силових кіл та управління, регулювання, вимірювання, сигналізації, живлення; силові кола змінного струму маркують літерами, що позначають фази (А, В, С, N).

Розділ 15. Системи автоматизації технологічних процесів харчових виробництв

15.1. Автоматизація типових об'єктів харчових виробництв

Технологічні процеси харчових виробництв відповідно до їх загальних фізико-хімічних та біологічних закономірностей можна подати у вигляді таких типових процесів: механічні, гідромеханічні, теплові, масообміні, хімічні та мікробіологічні. Така кваліфікаційна ознака покладена в основу розробки типових схем автоматизації. Більшість харчових виробництв складається із декількох різних типових процесів. Це дозволяє розглядати кожен такий процес як об'єкт локальної автоматизації, для якого розробляються типові локальні системи автоматичного вимірювання, контролю, регулювання та управління. Під час розробки локальних схем автоматизації слід також урахувати й особливості конструкції технологічного обладнання, що застосовується для здійснення цього процесу. Різні конструкції апаратів значною мірою впливають на статичні та динамічні характеристики об'єкта, що може привести до різних рішень щодо його автоматизації. До найбільш поширених типових схем автоматизації належать схеми контролю й регулювання температури, тиску, рівня та витрати.

Система автоматичного контролю та регулювання температури. У харчових виробництвах широко застосовуються теплові процеси. Теплові об'єкти характеризуються інерційністю та запізненням, що зумовлює значну тривалість перехідних процесів. Завдання регулювання температури в апаратах полягає в регулюванні теплового потоку від теплоносія крізь стінку до речовини, що нагрівається. Найбільш поширений спосіб регулювання – це стабілізація температури в апараті шляхом зміни витрати теплоносія.

Схему автоматизації температури продукту показано на рис. 15.1. АСР складається з датчика 1-1, показувального та регулювального приладу 1-2, виконавчого механізму 1-4 і регулювального органу 1-5, що змінює подачу пари в теплообмінник. Для можливості ручного управління в АСР передбачено панель дистанційного управління 1-3.

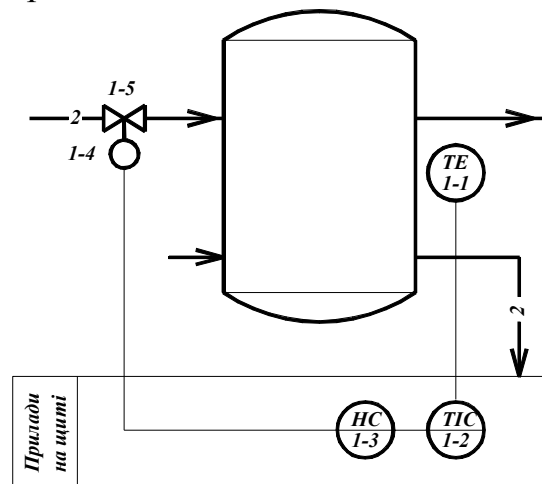


Рисунок 15.1 – Схема автоматизації регулювання температури

Система автоматичного контролю та регулювання тиску. У харчових виробництвах часто виникає необхідність регулювання тиску газу, пари та рідини в трубопроводах. При цьому застосовують регулятори прямої дії (рис. 15.2, а). Схему автоматизації місцевого контролю тиску наведено на рис. 15.2, б.

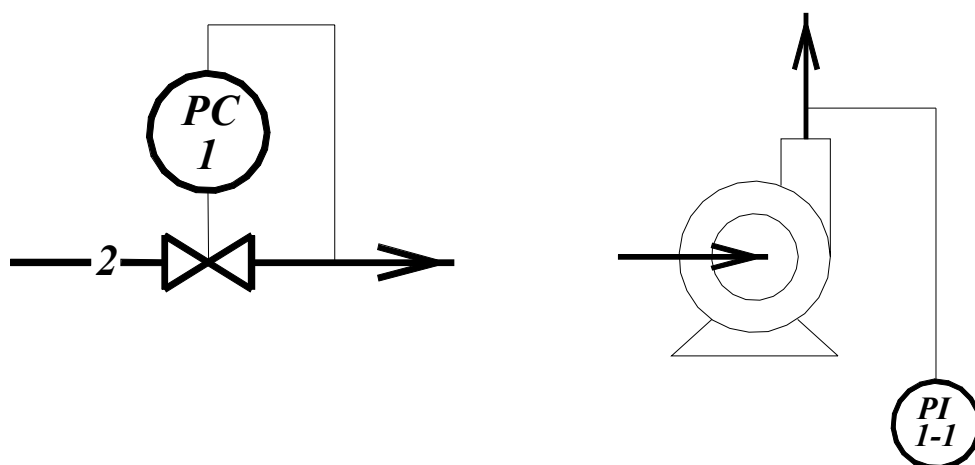


Рисунок 15.2 – Схеми автоматизації контролю та регулювання тиску;
а – регулятор тиску прямої дії; б – контроль тиску

Системи автоматичного контролю та регулювання рівня. Системи автоматичного регулювання рівня призначаються для дозування рідини, забезпечення заданої її витрати, стабілізація рівня в ємності. Для забезпечення заданої витрати рідини використовують накопичувальні ємності. Схемою автоматизації (рис. 15.3) передбачено двопозиційне регулювання рівня в такій ємності. Датчики рівня 1-1 (верхнього) та 1-2 (нижнього) подають сигнали на позиційний регулювальний пристрій 1-3, який діє на електромагнітний клапан 1-4, що регулює подачу продукту у ємність. Із досягненням заданого рівня вмикаються сигнальні лампи HL1 або HL2.

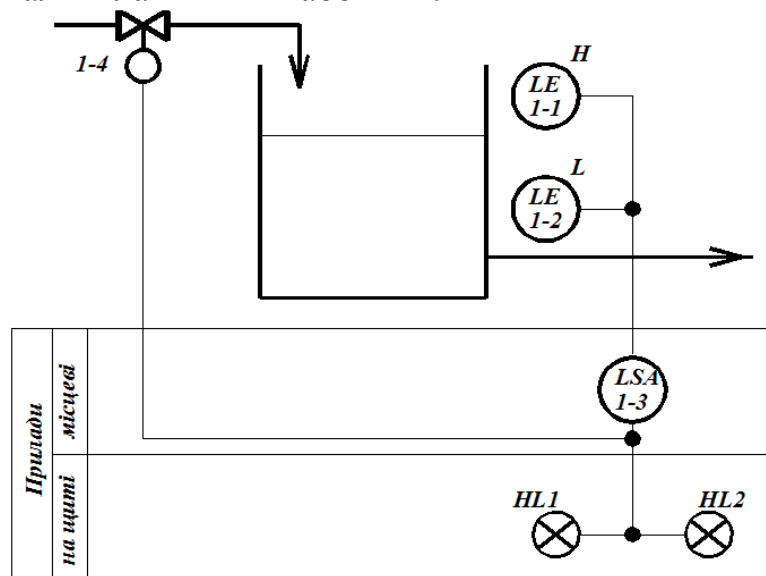


Рисунок 15.3 – Схема автоматизації двопозиційного регулювання рівня

Системи автоматичного контролю та регулювання витрати. Системи автоматичного регулювання витрати газу, пари, рідини та сипких матеріалів призначені для стабілізації заданої постійної за часом масової або об'ємної витрати, підтримання заданого співвідношення витрати кількох рідин або газів.

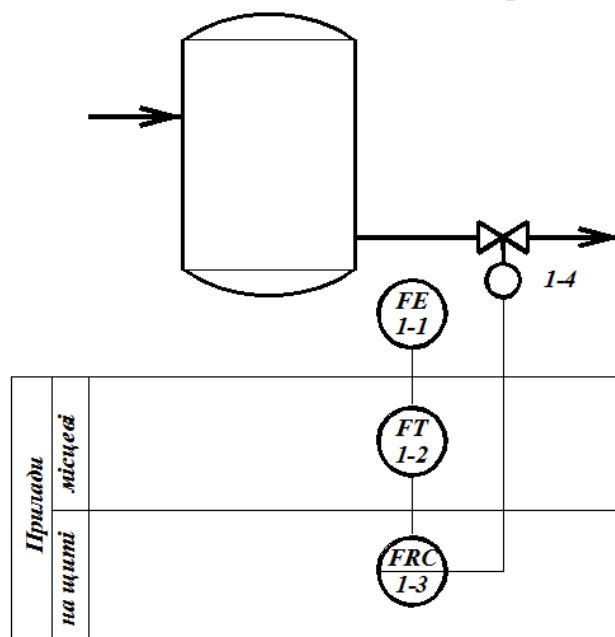


Рисунок 15.4 – Схема автоматизації регулювання витрати

В АСР стабілізації витрати продукту (рис. 15.4) сигнал від датчика 1-1, що встановлюється на трубопроводі, крізь проміжний перетворювач 1-2, подається на показувальний реєструвальний та регулювальний прилад 1-3, що діє на виконавчий механізм 1-4.

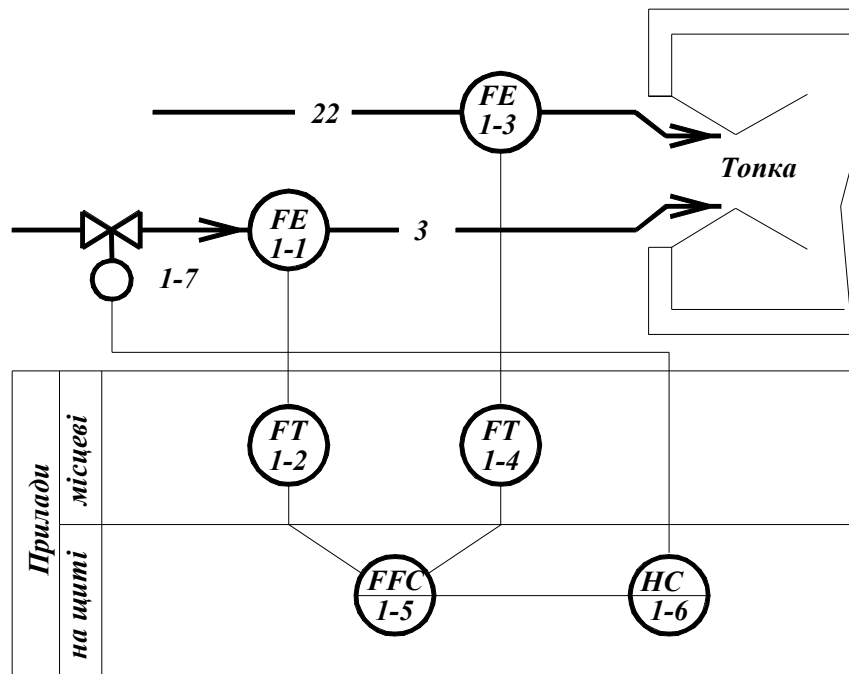


Рисунок 15.5 – Схема автоматизації регулювання співвідношення витрат

Для підтримання заданого складу суміші кількох газів або рідин застосовується схема регулювання співвідношення витрати одного компонента до іншого в заданій пропорції (рис. 15.5). Витрати компонентів вимірюються витратомірами 1-1 та 1-3. Сигнали від датчиків подаються на проміжні перетворювачі 1-2 та 1-4 і далі на регулятор співвідношення 1-5. Крізь панель дистанційного управління 1-6 регулятор діє на виконавчий механізм 1-7, що змінює витрату веденого компонента залежно від витрати ведучого компонента.

15.2. Автоматизація готування ковбасного фаршу

Лінія готування фаршу для ковбас «Докторська», «Молочна» складається з такого технологічного обладнання: насоси I та II для фаршу з яловичини та свинини, бункер для зважування фаршу III, ємність IV для дозування води та молока, а також фаршесмішувач V (рис. 15.6). Система автоматичного дозування яловичини та свинини складається з тензометричного пристрою 6-1, на якому підвішується ваговий бункер, приладу 6-2, який контролює масу яловичини або свинини в бункері, та задатчиків маси яловичини 6-7 та маси свинини 6-8. Подрібнена та посолена сировина (яловичина та свинина) надходить у бункери насосів I та II. У ємності IV встановлюються п'ять

первинних вимірювальних перетворювачів рівня 11-1а, 11-1б, 11-1в, 11-1г, 11-1д, що визначають об'єм води або молока – відповідно 20, 40, 60, 80 та 100 л, які з'єднуються з приладом для вимірювання рівня, що обладнується контактним пристроєм 11-2. Перед початком роботи оператор на пульті управління встановлює потрібні за рецептурою маси м'яса (6-7, 6-8). Система автоматизації дозволяє дозувати сировину в межах від 40 до 300 кг. Схемою передбачено автоматичний та ручний режими роботи обладнання. Режим роботи встановлюється перемикачем 1-1.

Процес готування фаршу циклічний. Система автоматичного регулювання здійснює подачу фаршу насосами в бункер і вивантаження по черзі в фаршезмішувач заданої кількості яловичини, свинини, молока та води, їх перемішування протягом заданого часу та подачу звукового сигналу за 15 с до закінчення процесу готування фаршу. Із натисканням кнопки 1-2 «Початок циклу» вмикається фаршевий насос І, що вимикається, коли в бункер надійде задана маса яловичини. Із регулятора 6-2 електричний сигнал подається на перетворювач 6-3, де він перетворюється на пневматичний, і далі на виконавчі механізми 6-5 та 6-6 відкриття заслінок бункера. Після вивантаження яловичини з приладу 6-2 крізь перетворювач 6-4 надходить сигнал на виконавчі механізми 6-5 та 6-6, які зачиняють заслінки бункера. Після вивантаження яловичини та досягнення на шкалі приладу 6-2 позначки «0» кілограмів із контактного пристрою цього приладу надходить сигнал, що перемикає систему з контура дозування яловичини на контур дозування свинини. Потім надходить сигнал, що вмикає фаршевий насос ІІ подачі свинини в бункер. Система дозування свинини працює аналогічно системі дозування яловичини.

Разом із початком автоматичного циклу дозування яловичини та свинини починається заповнювання ємності ІV молоком та водою. Відкриття пневматичних клапанів молока 11-7 та води 11-8 здійснюється стислим повітрям крізь відповідні перетворювачі 11-4 та 11-5, на які надходять сигнали з приладу 11-2. Під час дозування, наприклад, 20 л знежиреного молока спрацьовує первинний перетворювач рівня 11-1а, потім прилад 11-2, перетворювач 11-4 та пневматичний клапан 11-7 на трубопроводі молока закривається. Якщо потрібно крім молока дозувати, наприклад, ще 80 л води, то задатчик 11-9 встановлюється на позначці 100 л і з досягненням необхідного рівня рідини в ємності спрацьовує перетворювач рівня 11-1д, а пневматичний клапан 11-8, установлений на трубопроводі води, закривається. Необхідні за рецептурою об'єми молока та води після дозування яловичини та свинини надходять у фаршезмішувач. При цьому схема працює таким чином: сигнал із приладу 6-2 крізь перетворювач 11-3 подається на виконавчий механізм 11-6, що відкривається.

Після подачі всіх компонентів фаршу в фаршезмішувач вмикаються його шнеки, що змішують фарш протягом заданого часу (програмний пристрій 10-1), а за 15 с до закінчення процесу вмикається дзвінок НА1. Для сигналізації роботи електродвигунів вмикаються сигнальні лампи HL2 – HL5.

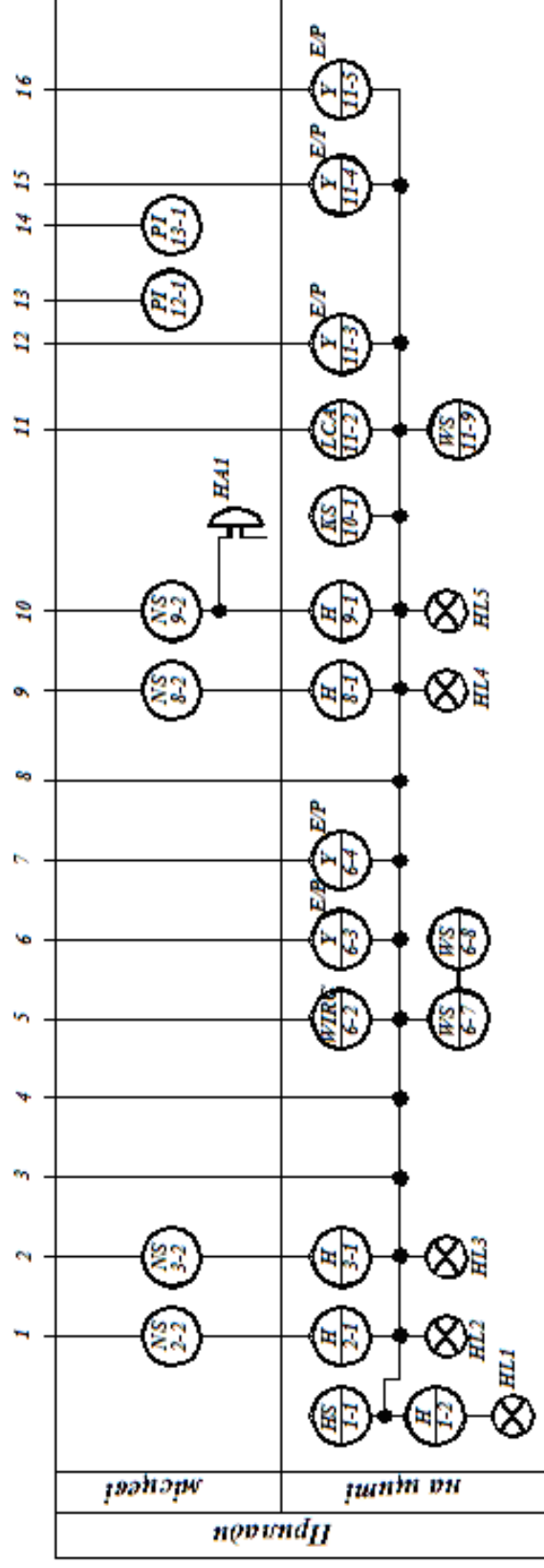
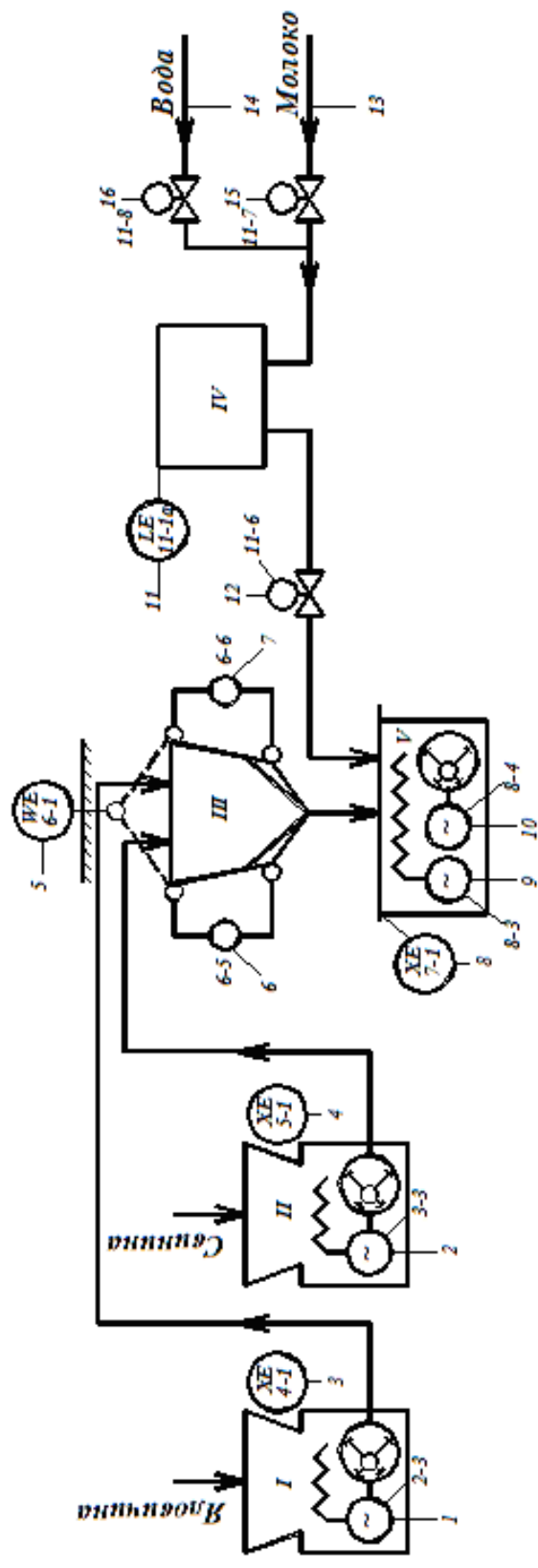


Рисунок 15.6 – Схема автоматизації виготовлення ковбасного фаршу

15.3. Автоматизація термічної обробки ковбас

Процес термообробки варених ковбас складається з підсушування, обсмаження та варіння. Підсушування проводиться тільки за часом, а обсмаження та варіння можна здійснювати за температурою всередині батона та за часом. Режими термообробки варених ковбас наведено в табл. 15.1.

Таблиця 15.1 – Режими термообробки варених ковбас

Продукт	Процес					
	Підсушування		Обсмаження		Варіння	
	t, °C	τ, хв	t, °C	τ, хв	t, °C	τ, хв.
Ковбаси	25...30	15...20	53...55	60...65	72	56...60
Сосиски	25...30	7	-	25...30	-	10
Сардельки	25...30	10	60	30...35	72	10...15

Примітка: t – середнє значення температури усередині батону наприкінці термообробки; τ - тривалість термообробки.

Процес термообробки напівкопчених ковбас складається з підсушування, обсмаження, варіння та коптіння. Режими термообробки напівкопчених ковбас наведено в табл. 15.2.

Таблиця 15.2 – Режими термообробки напівкопчених ковбас

Процес	Температура в камері, °C	Відносна вологість у камері, %
Підсушування, об смаження	95...97	12...15
Варіння	82...84	90
Коптіння	40...45	60

Схема автоматизації камери для термічної обробки ковбасних виробів передбачає автоматизацію повного циклу обробки з централізованим контролем зі щита. Динамічна характеристика термокамери дозволяє застосувати позиційний закон регулювання. У схемі автоматизації термокамери (рис. 15.7) передбачено: контроль тиску пари, що надходить на зволоження; контроль, реєстрація, регулювання температури та вологості; дистанційне управління заслінками; автоматична сигналізація та блокування.

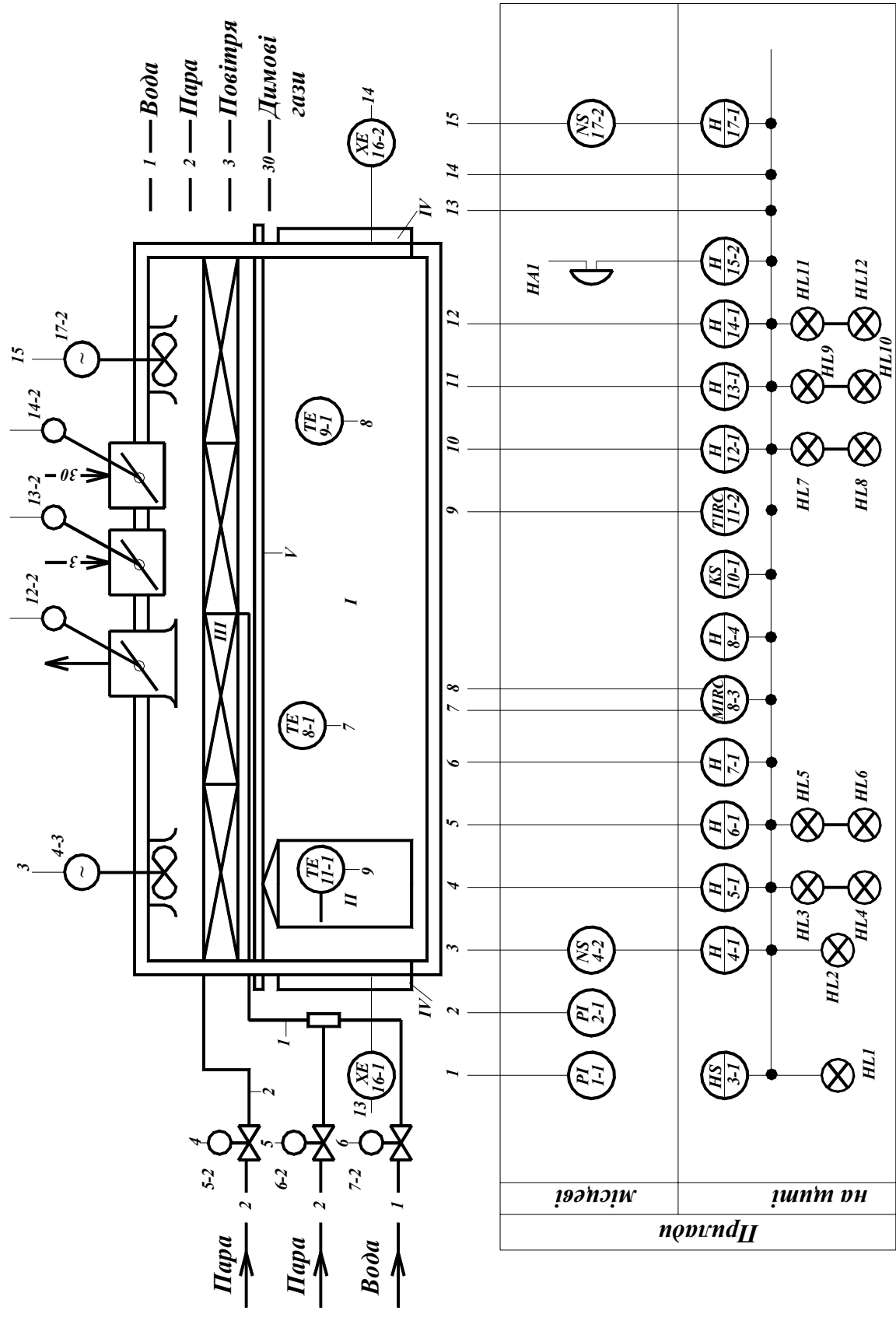


Рисунок 15.7 – Схема автоматизації термічної обробки ковбасних виробів

Контроль тиску пари, що надходить у камеру на зволоження, а також у калорифер для обігрівання, здійснюється манометрами 1-1 та 2-1. Контроль, реєстрація та автоматичне регулювання температури в камері I у процесі підсушування, обсмаження та коптіння проводиться автоматичним мостом 8-3 типу КСМ-2 у комплекті з термометром опору 8-1 типу ТСП-5П і термометром 8-2 типу ТСМ-10М, установлених у камері. За різницею температур мокрого 8-2 і сухого 8-1 термометрів визначають вологість пароповітряної суміші в камері. З відхиленням температури та вологості від заданих значень позиційний регулювальний пристрій моста замикає коло електричних виконавчих механізмів: 5-2, розміщеного на паропроводі подачі пари в калорифер III, 6-2, встановленого на паропроводі подачі пари у зволожувач VI, і замикаючого клапана 7-2 з електромагнітним приводом.

Крім того, автоматичне регулювання температури в камері може відбуватися за температурою всередині батона. Сигнал від голчастої термопари 11-1, що знаходиться всередині батона, надходить до потенціометра 11-2 типу КСП-2 з трипозиційним регулювальним пристроєм, який керує виконавчими механізмами 5-2, 6-2, 7-2.

Термічну обробку можна проводити за часом (для варених ковбас). Для цього використовується програмне реле часу 10-1. Зі щита управління передбачається дистанційне управління електродвигуном заслінок викиду газової суміші з термокамер 12-2, подачі повітря в термокамеру 13-2, подачі диму 14-2 за допомогою кнопок 12-1, 13-1 та 14-1 відповідно. Лампи HL7 – HL12 сигналізують про роботу електродвигунів. Дистанційне управління виконавчими механізмами 5-2, 6-2, 7-2 може здійснюватись за допомогою кнопок 5-1, 6-1, 7-1. Автоматичну сигналізацію роботи цих механізмів здійснюють сигнальні лампи HL3 – HL6.

У схемі застосовується автоматичне блокування подачі пари в термокамеру під час відчинення дверей IV: за допомогою кінцевих вимикачів 16-1 та 16-2 виконавчі механізми 5-2, 6-2 та 7-2 перекривають подачу пари в калорифер та камеру зволоження, а також води у зволожувач.

Звуковий сигнал після закінчення процесу подає зумер НА1, який вимикається кнопкою 15-2.

15.4. Автоматизація розморожування м'яса

М'ясо з холодильної камери, що направляється на промислову переробку, розморожується повітрям, пароповітряної сумішшю або струмом високої частоти. У наш час широко застосовують розморожування м'яса в напівтушах методом повітряного душування. За цим методом повітря, що має температуру 20° С і відносну вологість 90...95%, направляється зверху вниз уздовж напівтуш зі швидкістю від 2 м/с на рівні стегна до 1 м/с на рівні лопаток. Процес розморожування завершується після досягнення температури в товщі стегна 1° С. Динамічна характеристика камери розморожування дозволяє реалізувати позиційний закон регулювання, у результаті чого з'являється можливість

задовольнити технологічні вимоги до системи автоматизації й використовувати засоби автоматизації невисокої вартості. Схемою автоматизації процесу розморожування м'яса (рис. 15.8) передбачено автоматичне регулювання температури повітря в камері розморожування, управління електродвигунами вентиляторів, блокування роботи електродвигунів вентиляторів. Крім того, передбачається програмне керування технологічним процесом як за часом, так і за температурою м'яса в товщі стегна. Система передбачає також ручне управління процесом.

Після завантаження камери оператор вмикає електродвигун осьового вентилятора обдування напівтуш гарячим повітрям, що надходить повітропроводом (вентилятори, не показані на схемі, також вмикаються).

За допомогою ключа управління SA1 оператор установлює режим «за часом» або «за температурою». Потім кнопкою SB3 він вмикає дзвінок НА поблизу електродвигуна вентилятора і реле часу 4-1; через заданий час дзвінок НА вимикається і вмикається електродвигун вентилятора.

Задана температура в камері підтримується за допомогою термометра опору 3-1 і вторинного приладу 3-2, який дозволяє керувати виконавчим механізмом 3-3 із клапаном, установленим на паропроводі подачі пари в калорифер. Про стан клапана сигналізує лампа HL2.

Температура повітря в камері регулюється за двопозиційним законом: у разі зниження температури повітря в камері нижче заданої клапан подачі пари в калорифер відкривається, із досягненням заданої температури клапан закривається.

Вологість повітря в камері регулюється за психрометричною різницею між температурами сухого 3-1 і мокрого 2-1 термометрів опору, установлених у безпосередній близькості до входу всмоктувального повітропроводу.

Термометр опору 2-1 підключено до регулювального приладу 2-2, який у разі зменшення вологості від заданої (температура мокрого термометра збільшується, а психрометрична різниця зменшується) вмикає виконавчий механізм і відкриває клапан 2-3, змонтований на лінії подачі пари в камеру змішування. Про стан клапана сигналізує лампа HL3.

Під час проведення процесу «за часом» необхідна тривалість розморожування встановлюється на реле часу 4-2. Після закінчення заданого часу реле подає сигнал виконавчим механізмам 2-3 і 3-3, які закривають парові клапани і припиняють подачу пари в камеру змішування і калорифер.

Під час процесу розморожування «за температурою» голчасту термопару 1-1 поміщають у товщу стегна і за допомогою вторинного приладу (потенціометра) 1-2, що має контактний пристрій, контролюють температуру в напівтушах. Після досягнення заданої температури контактний пристрій вторинного приладу подає сигнал виконавчим механізмам 2-3 і 3-3, які припиняють подачу пари.

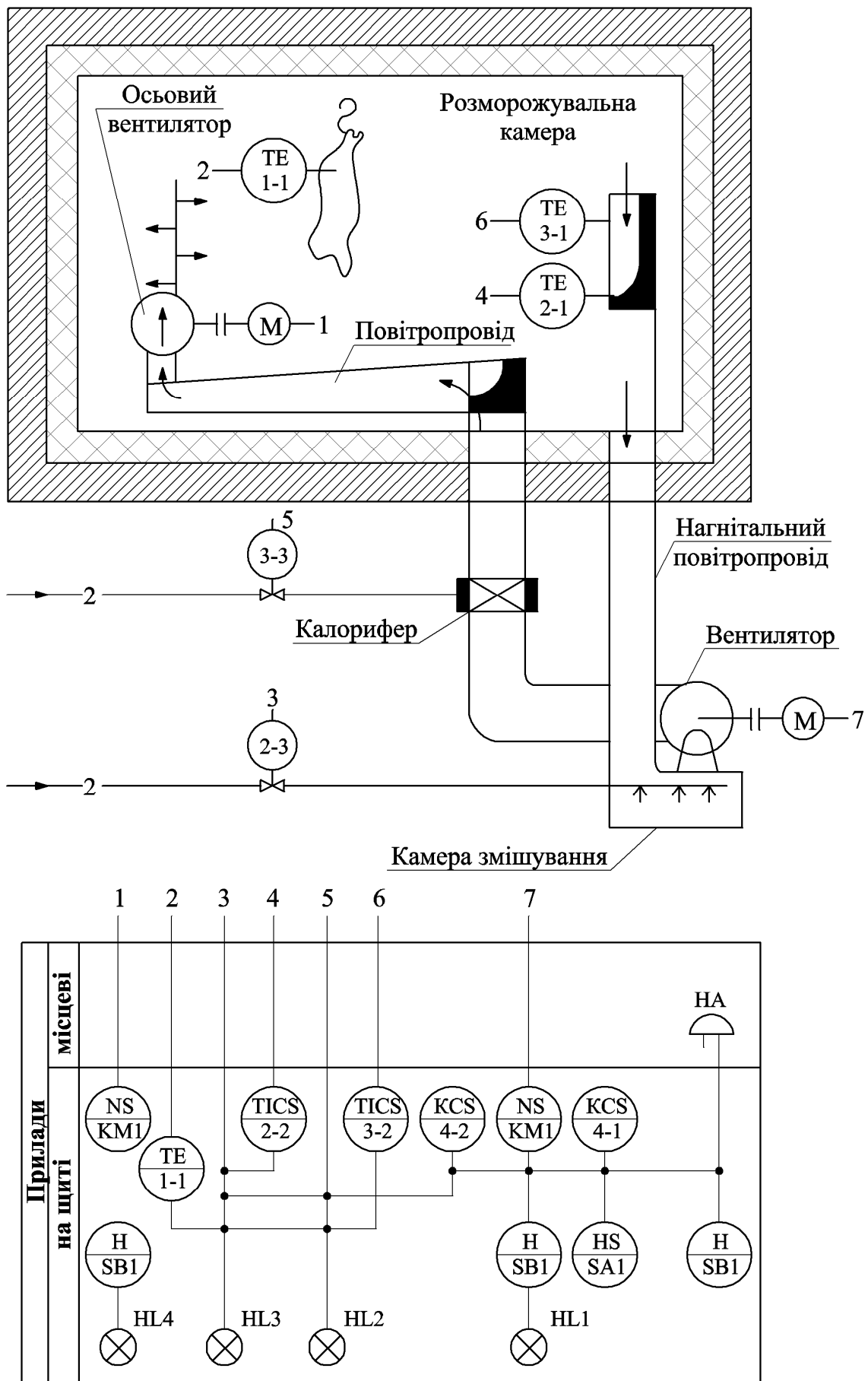


Рисунок 15.8 – Схема автоматизації процесу розморожування м'яса в напівтушах

15.5. Автоматизація теплової обробки молока в пастеризаційно-охолоджувальній установці

Теплову обробку молока з його механічним очищенням проводять у пластинчастих теплообмінних установках. На рис. 15.9 наведено схему автоматизації трисекційної пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки, яка складається з приймального бака, насоса 1 подачі продукту, пластинчастого теплообмінного апарата з секціями регенерації, пастеризації й охолодження, сепаратора-молокоочисника, витримувача, насоса 2 гарячої води, інжектора і бойлера.

Молоко надходить у секцію регенерації й далі в секцію пастеризації, де нагрівається гарячою водою. Температура пастеризації контролюється, реєструється і регулюється автоматичним мостом із контактним пристроєм і пневматичним ПІ-регулятором 3-2.

Контактний пристрій моста управляє перемикальним клапаном 3-5 для повернення у приймальну ємність недопастеризованого молока, при цьому лунає дзвінок НА1, а ПІ-регулятор управляє регулювальним клапаном 3-4 подачі пари в інжектор. Як первинний перетворювач використовують термометр опору 3-1.

Схемою передбачено операторне управління клапанами: регулювальним за допомогою байпасної панелі 3-3 і перемикальним за допомогою ключа SA2. Ключ SA1 використовується для вибору режиму управління перемикальним клапаном.

Для контролю спрацьовування перемикального клапана служить мікроперемикач 4-1 із сигнальною лампою HL2. Температура охолодження молока контролюється автоматичним самозаписувальним мостом 5-2 в комплекті з термометром опору 5-1.

Витрата молока, що надходить в установку, підтримується спеціальним ротаметричним стабілізатором витрати FC 2-1, а регулювання рівня в приймальному баку – поплавковим регулятором рівня прямої дії LC 1-1. Щоб уникнути потрапляння повітря в установку при аварійному зниженні рівня молока в приймальному баку, у ньому встановлюють датчик нижнього рівня 6-1 і сигналізатор рівня 6-2. У разі припинення подачі молока в резервуар сигналізатор рівня перемикає поворотний клапан 3-6 через електропневмоклапани 3-5 на повернення охолодженого молока в приймальний бак. При цьому установка продовжує працювати за замкненим циклом до поновлення надходження молока в приймальний бак.

Електродвигуни насосів подачі молока, гарячої води і сепаратора управляються оператором за допомогою кнопок станцій SB1, SB3, SB4.

Сепаратор-молокоочисник оснащено приладами місцевого контролю: ротаметричним витратоміром 7-1, манометром 8-1 і тахометром 9-1.

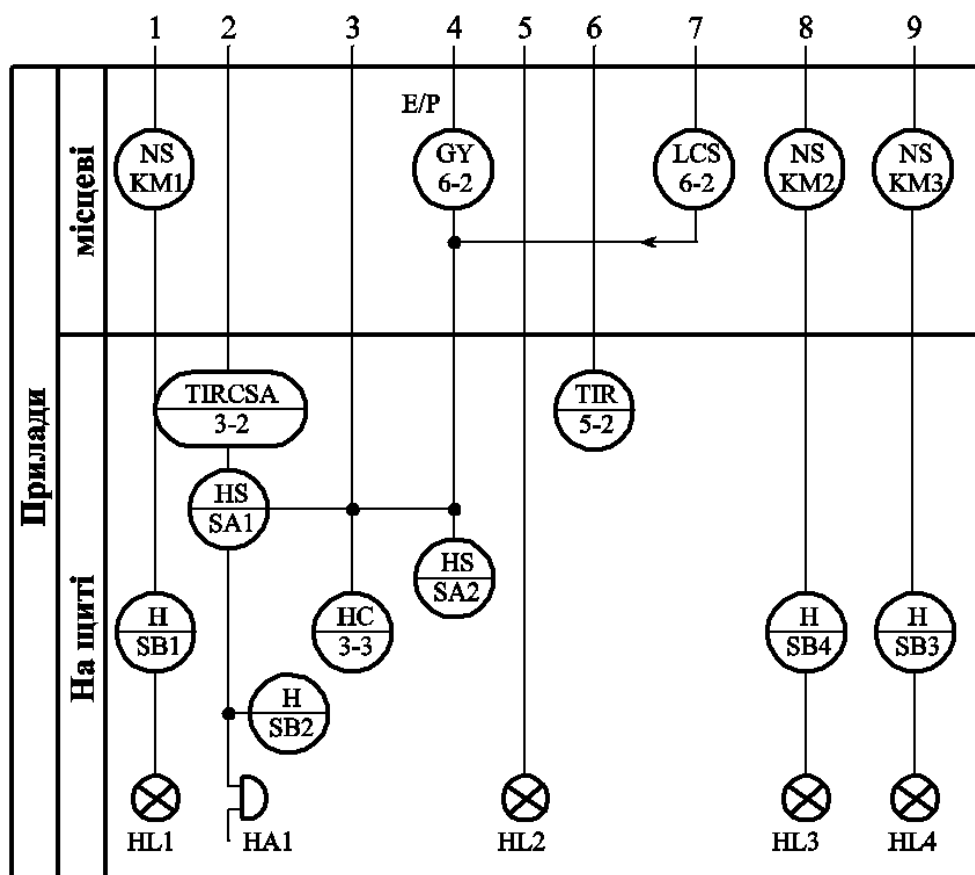
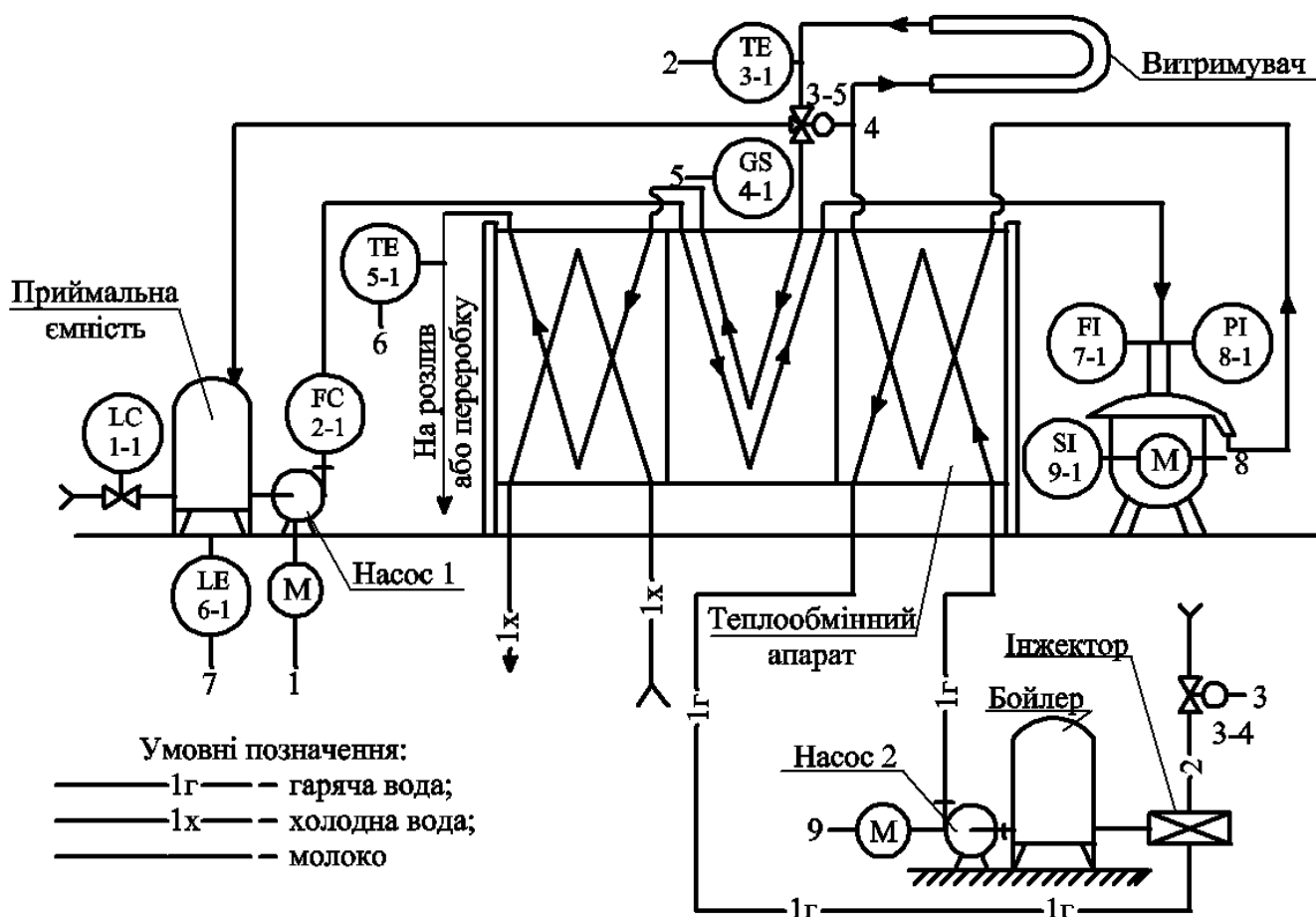


Рисунок 15.9 – Схема автоматизації пластинчастої пастеризаційної установки

15.6. Автоматизація трубчастої пастеризаційної установки

Для високотемпературної пастеризації молока під час виробництва, наприклад, деяких видів кисломолочних продуктів і продуктів дитячого харчування застосовують трубчасті пастеризаційні установки (рис. 15.10).

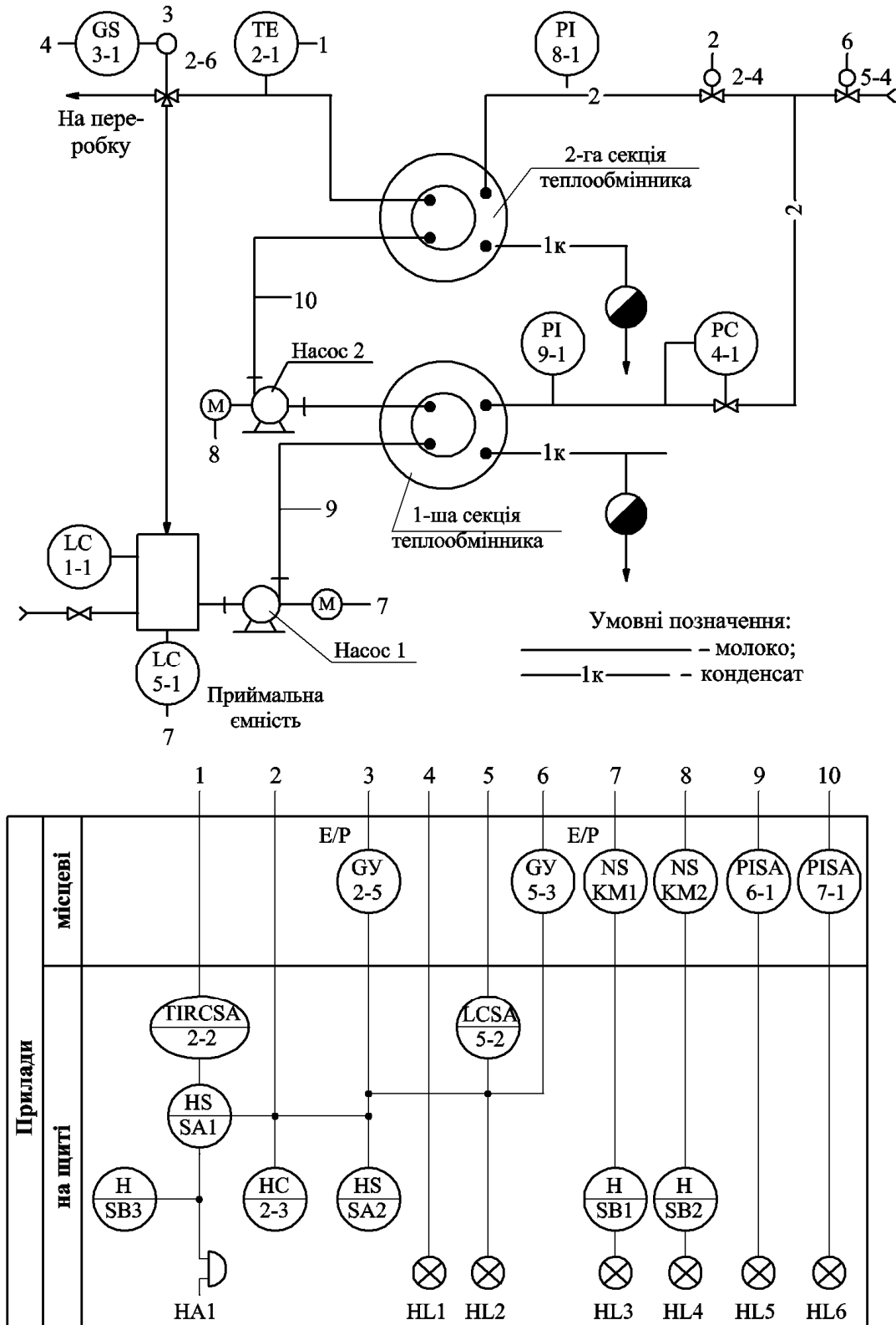


Рисунок 15.10 – Схема автоматизації трубчастої пастеризаційної установки

Рівень молока в приймальному баку підтримується постійним за допомогою поплавкового регулятора рівня прямої дії 1-1.

Для автоматичного контролю, реєстрації й регулювання температури пастеризації молока встановлено автоматичний самописний міст 2-2 із пневматичним ПІ-регулятором і контактним пристроєм. Міст працює в комплекті з термометром опору 2-1, установленим на виході з другої секції трубчастого теплообмінника.

Регулювальний пристрій моста впливає на клапан 2-4 з мембранним пневматичним приводом, змінюючи надходження пари в другу секцію, і підтримує задану температуру пастеризації. Для операторного управління клапаном використовується байпасна панель 2-3.

У разі зниження температури пастеризації контактний пристрій моста через електропневмоклапани 2-5 перемикає триходовий пневмоклапан 2-6 на повернення молока в приймальний бак. При цьому лунає дзвінок НА1.

У разі спрацьовування клапана повернення спрацьовує мікроперемикач 3-1 клапана і на щиті оператора загоряється лампа HL1. Для операторного управління клапаном служить ключ SA2. Ключем SA1 вибирають режим управління.

Регулювання тиску пари, що надходить у 1-шу секцію теплообмінника, виконується регулятором прямої дії 4-1. За місцем тиск пари контролюється манометрами 8-1, 9-1.

Для запобігання підсмоктуванню повітря в установку в разі аварійного припинення подачі молока і зниження його рівня в приймальному баку служить датчик нижнього рівня 5-1 кондуктометричного сигналізатора 5-2. Коли рівень молока опуститься нижче датчика 5-1, сигналізатор перемикає клапан 2-6 на повернення молока. Одночасно через електропневмоклапани 5-3 клапан 5-4 з мембранним приводом відсікає надходження пари в установку, а на щиті загоряється сигнальна лампа HL2.

Електродвигунами насосів управляє оператор зі щита за допомогою кнопок SB1 і SB2. Робота насосів контролюється за тиском у трубопроводах електроконтактними манометрами 6-1, 7-1.

15.7. Автоматизація виробництва сирного зерна в сирних ваннах

Для виготовлення сирного зерна пастеризоване молоко з температурою 35° С надходить у сирну ванну, де відбувається зсідання молока та утворення сирного зерна. Далі сирне зерно подається до пресу, де пресується та формується. Процес відбувається в такій послідовності: заповнення ємності молоком, внесення закваски та сичужного ферменту, перемішування протягом заданого проміжку часу молока, що заквасилось, витримування його до створення згустку, розрізання згустку після досягнення готовності, вимішування сирного зерна та нагрівання його в заданій програмі.

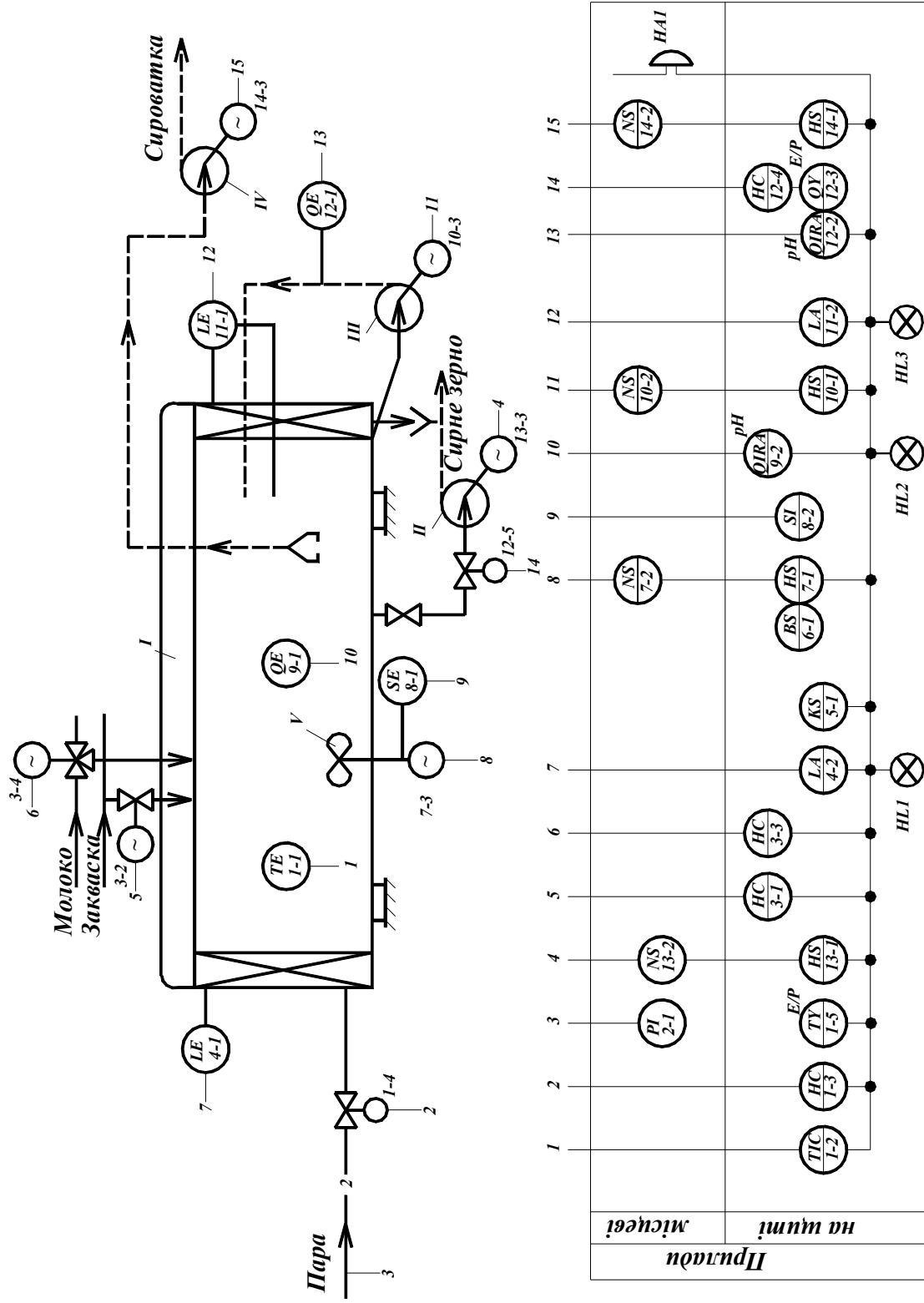


Рисунок 15.11 – Схема автоматизації переробки молока в сирних ваннах

Схема автоматизації передбачає управління процесом, автоматичний контроль кислотності сироватки в процесі утворення та обсушування зерна, регулювання температури продукту на всіх стадіях обробки, автоматичний контроль формування сирного згустку та його готовність.

Установка складається (рис. 15.11) з ванни I, насосів II, III, IV, пристрою для перемішування та різання V.

Для заповнення ванни молоком та закваскою відкриваються виконавчі механізми 3-2 та 3-4, що управляються за допомогою панелей ручного дистанційного управління 3-1, 3-3.

Через 5 хв після заповнення ванни програмний пристрій 5-1 вмикає пристрій для перемішування V, що підключається до регулятора напруги 6-1, за допомогою якого здійснюється регулювання частоти обертання мішалок. Через 15 хв вноситься сичужний фермент. Ще через 5 хв мішалка вимикається і починається процес формування згустку, що триває 35...40 хв. Якість процесу контролюється датчиком якості 9-1, показувальним приладом 9-2 та сигнальною лампою HL2.

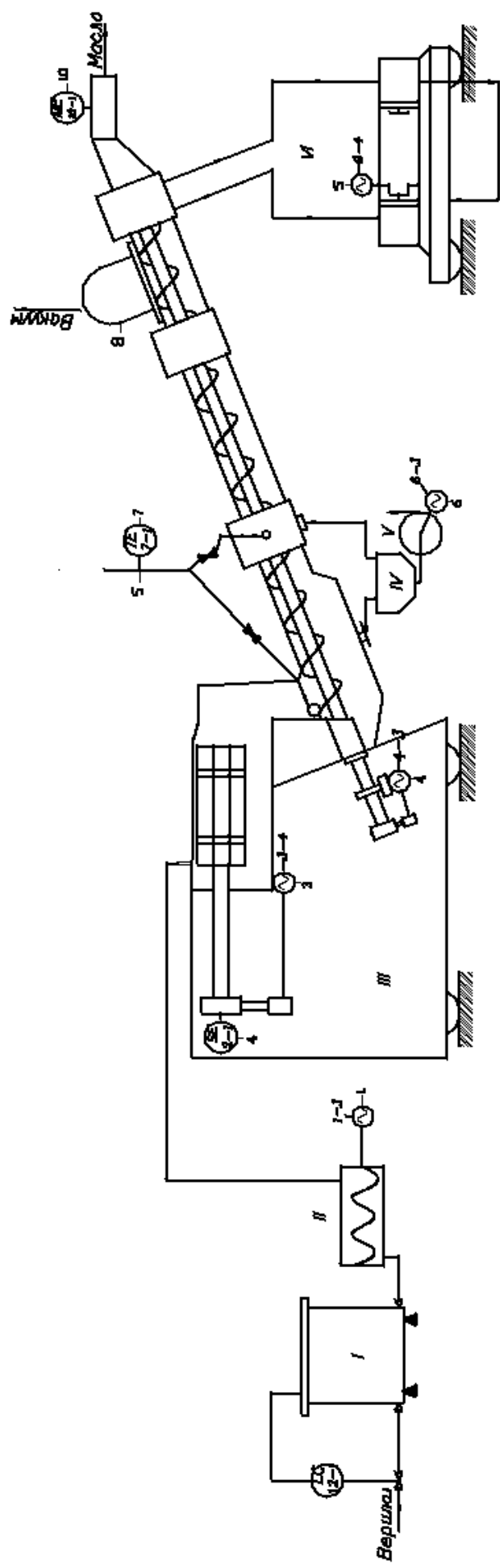
Через 40 хв після внесення сичужного ферменту вмикається механізм для розрізання згустку. Процес розрізання триває протягом 15...20 хв за частоти обертання двигуна 7-3, що становить $0,5...1 \text{ хв}^{-1}$, що дозволяє уникнути втрат жиру з сироваткою. Контроль частоти обертання двигуна здійснюється за допомогою тахометра 8-1 і вторинного приладу 8-2.

Через 5 хв після розрізання згустку автоматично вмикається мішалка для вимішування зерна. Частота обертання двигуна спочатку дорівнює $0,5 \text{ хв}^{-1}$, потім 1 хв^{-1} . На 7-й хвилині після розрізання згустку програмний пристрій 5-1 вмикає двигун 10-3 насоса подачі сироватки до скляних електродів первинного перетворювача 12-1 рН-метра і приладу 12-2. Задане значення рН дорівнює 6,5.

15.8. Автоматизація виробництва вершкового масла

Технологічний процес виробництва вершкового масла методом збивання включає такі операції: безперервне подавання вершків, безперервне збивання, відділення сколотин, обробку масляного зерна, вакуумну обробку, фасування і пакування (рис. 15.12).

Вершки з вершководозрівального резервуара через зрівняльний бак I гвинтовим насосом II подаються в циліндр масловиробника III. Масляне зерно, яке утворилося, з масляною потрапляє в першу камеру, де зерно піддається першому промиванню і механічній обробці шнеками. Маслянка відділяється від масляного зерна в бак для сколотин IV і далі насосом V подається для подальшої переробки. Масляний пласт утворюється в першій камері. У другій камері відбуваються остаточне промивання і подальша обробка масляного зерна. У третій камері вакуумом створюється розрідження для видалення повітря. Далі масло продавлюється через решітку з дрібними отворами, між якими встановлені ножі для перемішування пласта масла.



Ілпугу											
на шум!		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ілпугу	на шум!	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	на шум!	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рисунок 15.12 – Схема автоматизації виробництва вершкового масла

Масло, яке виходить із насадки масловиробників, по транспортеру направляється на фасування і пакування. Для дозування масла є насос-дозатор VI.

Автоматичне регулювання параметрів процесу збивання істотно впливає на якість вершкового масла. Для нормального перебігу процесу збивання необхідно забезпечити рівномірну подачу вершків, для чого в схемі використовується зрівняльний бак I із поплавковим регулятором рівня 12-1 і гвинтовий насос II подачі вершків. Управління роботою масловиробників здійснюється зі щита управління.

Первинним вимірювальним перетворювачем частоти обертання збивача є тахогенератор 2-1, з'єднаний із приладом 2-2. Для вимірювання величини струму, споживаного електродвигуном при збиванні, на пульті встановлений амперметр 3-3.

Контроль тиску і температури крижаної води, яка надходить для промивання масляного зерна в першій камері та промивання пласта масла в другій камері масловиробника, здійснюється відповідно манометром 5-1 і манометричним термометром 7-2. Манометричний термометр має сигнальний пристрій, який видає електричний сигнал у разі підвищення температури проточної води порівняно із заданим значенням, при цьому на пульті вмикається лампа HL3. На вакуумній лінії масловиробника встановлений вакуумметр 8-1.

Вміст вологи в маслі визначається величиною діелектричної проникності масла. Система автоматичного контролю і регулювання вмісту вологи у вершковому маслі є високочастотним вологовимірювачем, заснованим на ємнісному методі вимірювання. Система складається з первинного вимірювального перетворювача 10-1 проточного типу, встановленого на виході масла з масловиробника, блока перетворювача 10-2, показуючого та регулювального приладу 10-3, програмного пристрою 9-1, електродвигуна 9-4, насоса-дозатора VI, що забезпечують імпульсне регулювання вмісту вологи у вершковому маслі.

15.9. Автоматизація випікання хліба

Випікання хліба здійснюється в печах безперервної та періодичної дії, у яких застосовують електрообігрівання, газове або рідке паливо. До основних факторів, що впливають на якість хліба належить температура та вологість середовища в пекарській камері, структурно-механічні властивості тіста й тривалість випікання.

Система автоматизації пічного агрегату РЗ-ХПА (рис. 15.13) реалізує такі функції: вимірювання температури в основних зонах печі; у зоні зволоження 1-2, у першій 2-2 та другій 3-2 зонах пекарської камери за допомогою мілівольтметрів 1-2, 2-2, 3-2 у комплекті з термоелектричними перетворювачами 1-1, 2-1, 3-1; двопозиційне регулювання температури середовища в пекарській камері 5-2; автоматичне розпалювання печі 12-2;

контроль наявності полум'я датчиком 8-1 разом з автоматом контролю полум'я 8-3; автоматичне блокування перевищення температури суміші газів у топці; контроль розрідження в топці вакуумметром 7-2; регулювання тиску газу в газопроводі регулятором тиску 15-1 прямої дії; автоматичне управління переривчастим рухом конвеєра печі за допомогою магнітного пускача 4-1 та реле часу 4-3; забезпечення безпеки; світлову сигналізацію роботи вентилятора HL7, рециркуляційного насоса HL8, конвеєра HL1; світлову та звукову сигналізацію аварійного режиму 8-2 та HL5.

Система автоматики безпеки передбачає автоматичне розпалювання печі в такій послідовності: продування газоходів у печі протягом 1 – 2 хв; вмикання подачі палива; розпалювання палива за допомогою електродів запалювання 14, на які подається висока напруга (10 – 15 тис. В) від трансформатора запалювання 12-2; прогрівання топки в режимі «малий факел» протягом 1 – 2 хв., вимикання пальника за відсутності полум'я протягом 15 с після подачі палива.

Під час роботи системи автоматичного управління тепловим режимом пекарської камери, якщо температура середовища в камері (термоелектричний перетворювач 5-1) нижча заданої, вентиля клапанів 5-3 та 6-4 відкриті, у пальник надходить більше газу, що веде до появи «великого факела». Одночасно в топку подається більше повітря. Після досягнення в камері печі заданої температури клапан 5-3 закривається, подача повітря в топку припиняється. При цьому відкрито тільки клапан 6-4, витрата газу в топці зменшується, що відповідає режиму «малий факел». Попереднє настроювання вентилів 16 та 17 забезпечує необхідну витрату газу через клапани 5-3 та 6-4. Сигнальні лампи HL2 та HL3 сигналізують про відкриття клапанів 5-3 та 6-4.

Для захисту клапанів печі від швидкого прогорання (температура вище 600° С) передбачено автоматичне блокування подачі газу в топку шляхом закриття клапана 6-4; зі зменшенням розрідження в камері згоряння нижче 10 кПа, а також із відривом полум'я або під час його проскакування у пальник регулятор 7-2 закриває клапани 5-3 та 6-4.

Засоби автоматизації, контролю та управління рухом конвеєра, вимірювання температури в зонах пекарської камери розташовуються на щиті управління №1, що розміщується біля посадкового вікна печі. На щиті управління №2, що встановлюється з боку топки, розташовуються засоби автоматизації регулювання та безпеки.

15.10. Схема автоматизації приготування тіста затяжного печива

Процес приготування тіста є однією з основних операцій виробництва печива. Основними завданнями автоматизації є забезпечення заданого складу тіста і приготування його в кількості, що визначається потребами виробництва.

Ділянка замісу тіста безперервним способом складається з емульгатора I, автовагів для цукру II, бункера з цукром III, пластифікатора для жиру IV, бака-мірника молока V, бака емульсії VI, мірника для води і меланжу VII, дозатора для борошна та інших сипких компонентів VIII, тістомісильної машини або

збивальної машини IX і бункера для борошна та інших сипких компонентів X (рис. 15.14).

Усі види сировини, передбачені рецептурою, крім борошна, дозуються в емульгатор I. Готову емульсію, яку збили раніше, додають у борошно в тістомісильну машину IX, де відбувається безперервний заміс тіста. Готове тісто йде на формування.

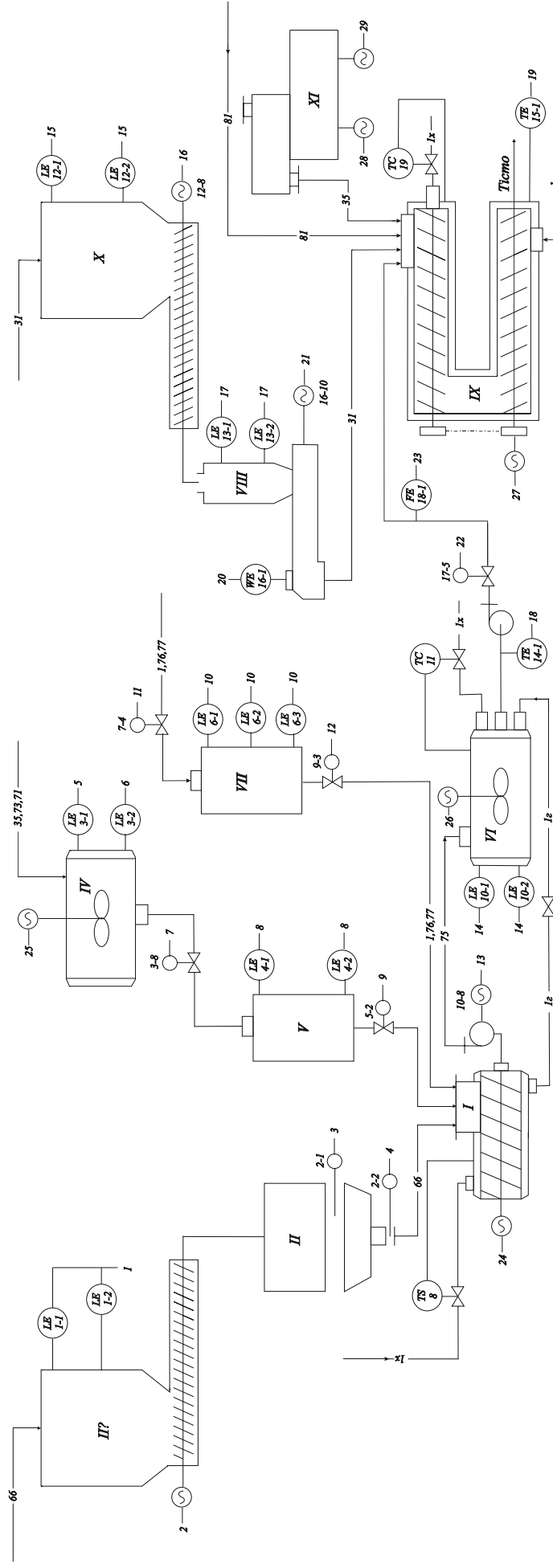
Схемою автоматизації передбачено регулювання і контроль рівня бункера з цукром, рівня молока в баці-мірнику, рівня в мірнику для води і меланжу, рівня в збірному баці з емульсією, регулювання температури емульсії в емульгаторі й у збірному баці, регулювання витрати емульсії, регулювання і контроль рівня в бункері й дозаторі для борошна і сипких компонентів, контроль маси дозуючого борошна і її відношення до кількості емульсії, регулювання температури, вологості тіста, що йде на формування.

Цукор-пісок, який подрібнюють до цукрової пудри, потрапляє в бункер III, де встановлені датчики верхнього 1-1 і нижнього 1-2 рівнів, сигнали від яких подаються на сигналізатор рівня 1-3. Сигналізація верхнього і нижнього рівнів цукру-піску або цукрової пудри в бункері здійснюється за допомогою відповідних світлових табло HL1 і HL2. Як тільки цукор досягає верхньої границі рівня, оператор кнопкою управління 1-4 або 1-5 вмикає шнек подачі цукру або цукрової пудри на автоваги II. Після досягнення певної дози цукру або цукрової пудри виконавчий механізм 2-3 відкриває заслінку на виході бункера автовагів і відміряна порція цукру або цукрової пудри пересипається в емульгатор I.

Далі відбувається дозування вершкового масла й молока, які потрапляють із бака в мірник V. У баку VI встановлені датчики верхнього 3-1 і нижнього 3-2 рівнів, сигнали від яких потрапляють на сигналізатор 3-3, у разі досягнення розтопленим вершковим маслом верхнього рівня 4-1 починає працювати ВМ 3-7, що закриває клапан подачі вершкового масла в мірник V. Одночасно з цим вмикається ВМ 5-2, що відкриває клапан подачі вершкового масла в емульгатор. Молоко дозується аналогічно.

Наступним етапом є дозування меланжу в мірник VII. Схемою автоматизації передбачений контроль верхнього 6-1, 6-2 і нижнього 6-3 рівнів меланжу на відповідному сигналізаторі на щиті. Потрапивши в емульгатор, компоненти перемішуються спеціальними лопатями, які приводяться в рух електродвигуном 24. Стабілізація температури маси в емульгаторі (30° С) здійснюється регулятором прямої дії 8, що діє на приплив води в сорочку.

Сигналізатори верхнього і нижнього рівнів цукру або цукрової пудри, вершкового масла в бункері виконують функції автоматичного дозування і контролю запасів даних компонентів. Дозування компонентів відбувається в суворій послідовності: цукрова пудра або цукор-пісок, вершкове масло, молоко, ванільна пудра, сода питна, меланж. Готова емульсія перекачується насосом 10-8 у бак емульсії VI, що для підтримання температури емульсії (19...22° С) має водяну сорочку. Стабілізація температури емульсії в баці здійснюється регулятором прямої дії 11, рівень емульсії в збірному баці контролюється системою, аналогічною системі регулювання в мірнику IV.



- Ix — Холодная вода
- Iz — Горячая вода
- 31 — Борошно тиснене
- 35 — Масло вершкове
- 66 — Цукор
- 73 — Молоко
- 76 — Меланж
- 71 — Ванільна пудра
- 75 — Емультія
- 77 — Сода титна
- 81 — Підготовлені розчинки

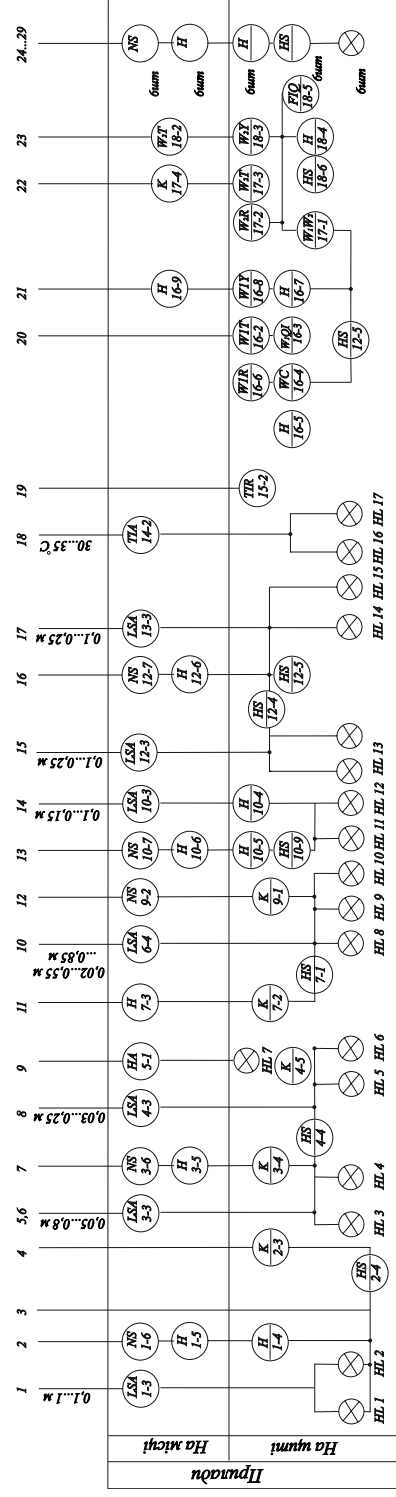


Рисунок 15.14 – Схема автоматизації приготування тіста затяжного печива

Замість тіста відбувається в місильній машині з двома лопатями IX при визначеному відношенні борошна потрапляючого із бункера X, і емульсії. Задатчиком 16-5 встановлюється необхідний об'єм борошна. Сигнал від електронно-механічного перетворювача 16-1 потрапляє на вхід підсилювача 16-2 і далі на регулятор 16-4 через інтегратор 16-3.

Отриманий на виході регулятор сигналу розбалансування потрапляє на проміжний перетворювач 16-8 і далі на привід вібронагнітача 16-10, що збільшує або зменшує подачу борошна на транспортер дозатора VIII. Потужність дозатора контролюється інтегратором 16-3.

На щиті управління встановлено додатковий двошкальний міліамперметр 16-6, який реєструє величину струму в обмотці управління.

Сигнал від регулятора об'єму борошна 16-4 надходить ще й на вхід аналого-множного пристрою 17-1, який управляє відношенням «борошно – емульсія». Сигнал про витрату емульсії від електромагнітного витратоміра 18-1 через перетворювач 18-2 потрапляє на регулятор 17-2. У регуляторі цей сигнал, що характеризує поточну витрату емульсії, порівнюється з сигналом аналог-множного пристрою 17-1. Якщо ці сигнали не однакові, то отриманий на виході сигнал підсилюється в підсилювачі 17-3 і подається на регулятор 17-5, який збільшує або зменшує подачу емульсії доти, доки сигнал неузгодженості не буде дорівнювати 0. Об'єм емульсії контролюється суматором 18-5. Заздалегідь підготовлені родзинки додають у тістомісильну машину відповідно до рецептури.

У схемі автоматизації окремо передбачені автоматичне управління дозуванням борошна й емульсії, ручне управління дозаторами з пульта управління, що здійснюється ключами 16-7, 16-11 і 18-6. При окремому автоматичному дозуванні емульсії вмикається задатчик 18-4.

15.11. Автоматизація холодильної машини з поршнеvim компресором

Компресійна холодильна машина складається з чотирьох основних елементів (рис. 15.15): компресора, у якому відбувається стиснення пари холодильного агента (фреон). Далі стиснена пара подається в конденсатор, де конденсується (віддає тепло). Із конденсатора рідкий холодильний агент надходить до терморегулюючого вентиля (ТРВ). Цин вентилем регулюємо кількість холодильного агента у випарнику та підтримуємо перегрівання пари після випарника. У ТРВ відбувається дроселювання холодильного агента, під час якого частина холодильного агента закипає й охолоджує решту рідини до температури кипіння, тобто з ТРВ виходить парорідинна суміш, яка подається у випарник, де кипить за рахунок теплоти продукту.

До складу холодильної машини входять також фільтр-осушник, який дозволяє позбутися зайвої вологи у фреоні, та соленоїдний клапан, що під час зупинок відсікає надходження високого тиску з боку нагнітача від сторони низького тиску. Компресор оснащується захисними реле високого та низького тиску.

Залежно від призначення і продуктивності холодильної машини до її складу можуть входити різні пристрої автоматизації. У ході автоматизації вирішуються такі завдання:

- автоматичне регулювання робочих процесів (регулятори: продуктивності, тиску, температури, рівня рідини, вологості, витрати, напрямку потоку, шуму, вібрації, товщини льоду та ін.);
- захист машини від аварійних процесів (фільтри, відокремлювані мастила, відокремлювані рідини, проміжні посудини, зворотні клапани, запобіжні клапани, випарники рідкого фреону, струмові автомати захисту, реле: тиску, температури, мастила, контролю фаз, течії охолоджуваних і охолоджувальних середовищ тощо);
- контроль, сигналізація й архівація параметрів системи (манометри, термометри, мікропроцесорні блоки, оглядові й індикаторні віконця).

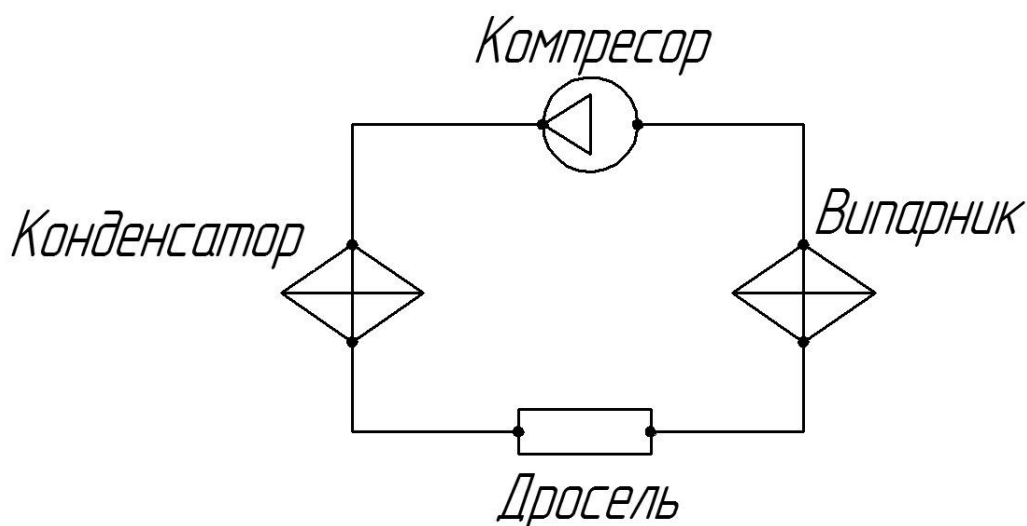


Рисунок 15.15 – Принципова схема холодильної машини

Одночасно всі зазначені величини регулюються тільки в окремих установках. Найбільш поширені холодильні установки: побутові холодильники, кондиціонери та охолоджувачі рідини, що мають мінімальну кількість елементів автоматики. Максимальну кількість елементів автоматики мають багатокомпресорні системи з насосною циркуляцією рідкого холодоагенту і каскадні установки.

Основним завданням автоматизації холодильних установок є автоматична зміна холодопродуктивності залежно від теплоприпливу в об'єкті охолодження. Регулювання холодопродуктивності може бути позиційним або пропорційним.

Схемою автоматизації (рис. 15.16) передбачено захист компресора від небезпечних режимів роботи: зниження тиску всмоктування, підвищення тиску та температури нагнітання, зниження тиску мастила між виходом маслососа та картером, перегрівання обмоток електродвигуна, відсутність води, що подається до охолоджувальної оболонки компресора, захист випарника або циркуляційного ресивера від переповнення.

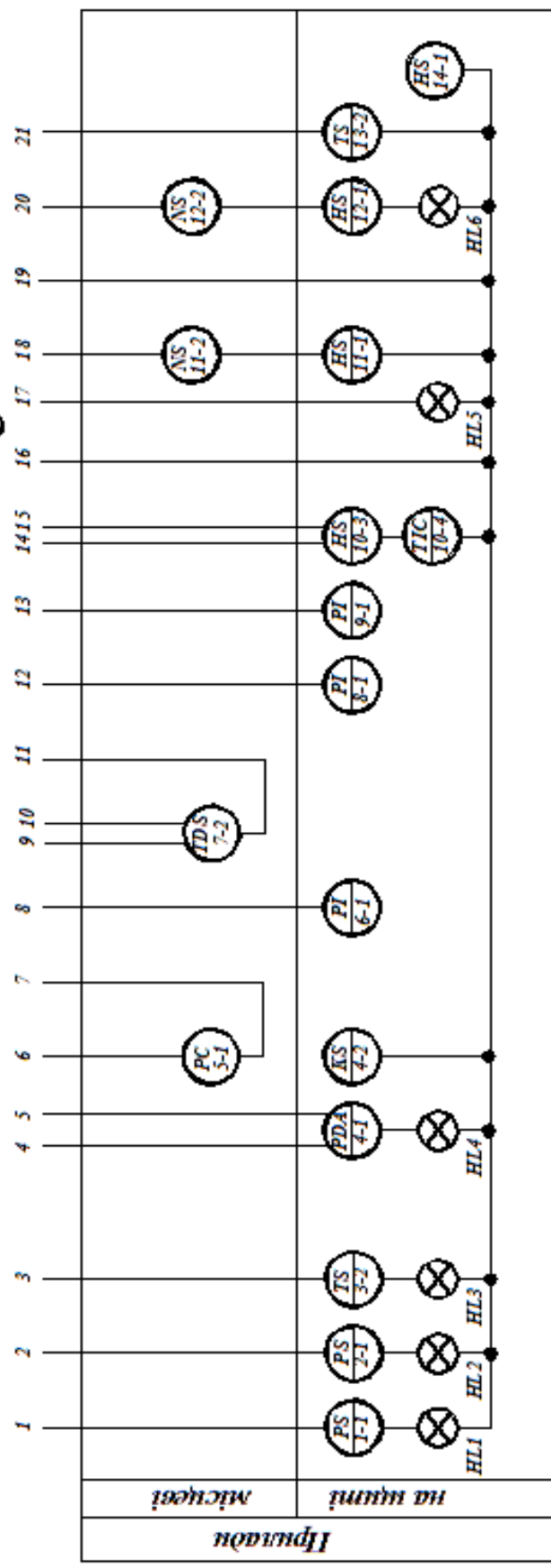
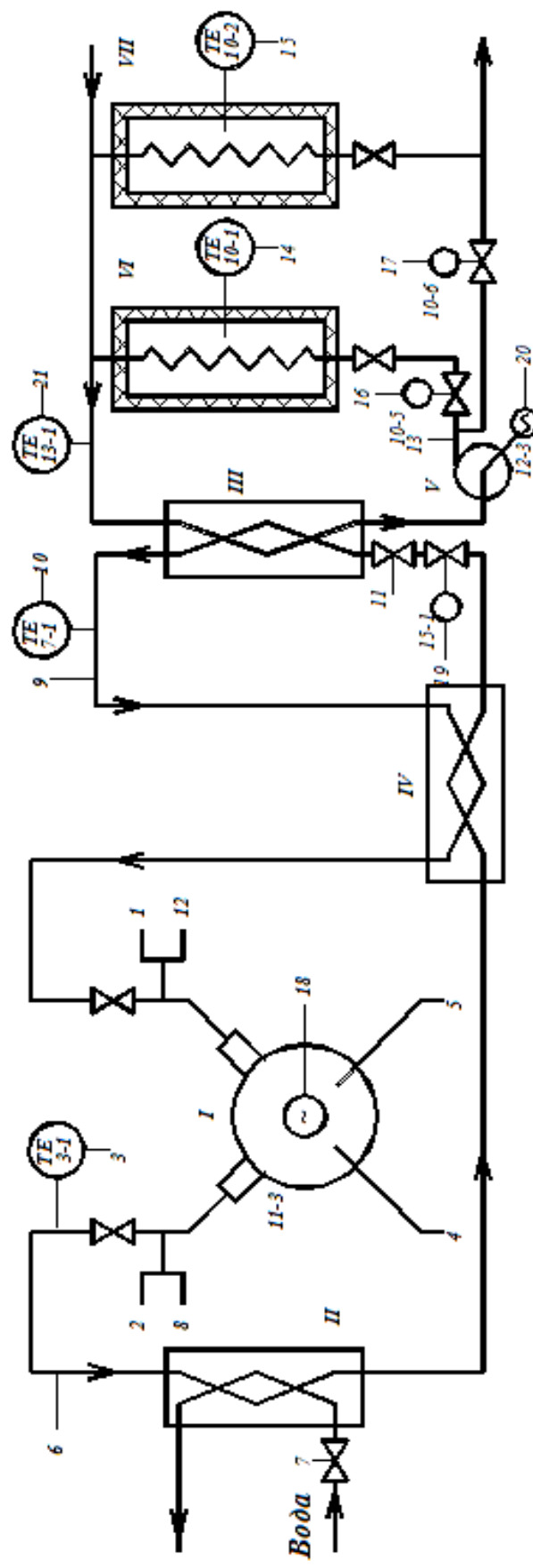


Рисунок 15.16 – Схема автоматизації холодильної машини

Для підтримання рівня заповнення випарника використовують терморегулюючі вентиля або поплавкові регулятори. Стабілізація тиску конденсації здійснюється пропорційним регулятором тиску прямої дії (водорегулятором). Контроль тиску нагнітання, всмоктування й тиску мастила в маслосистемі здійснюється манометрами.

Холодильна установка складається з компресора I, конденсатора II, випарника III, теплообмінника IV, циркуляційного насоса V, холодильних камер VI та VII.

Холодопродуктивність компресора регулюється двопозиційним реле температури 13-2 через магнітний пускач 11-2 вмиканням та вимиканням електродвигуна компресора 11-3. Регулювання температури в камерах VI та VII здійснюється системою автоматизації, що складається з автоматичного моста 10-4, первинних вимірювальних перетворювачів – термометрів опору 10-1 та 10-2 і виконавчих механізмів – соленоїдних вентилів 10-5 та 10-6. Зі зміною температури в камерах нижче заданої вентиля замикаються, а з підвищенням відмикаються. Якщо температура в усіх камерах нижче заданої, передбачається автоматичне вимикання електродвигунів насоса 12-3 та компресора 11-3. Соленоїдний вентиль 15-1 перешкоджає перетіканню рідкого холодоагенту з конденсатора у випарник. Він замикається під час зупинки компресора та відкривається з його запуском. Компресор вимикається за допомогою реле 1-1, 2-1, 3-2, 4-1, коли відповідні параметри перевищують гранично допустимі значення на лінії всмоктування, та перепад тиску в маслосистемі стає нижче допустимого. При цьому вмикаються сигнальні лампи HL1–HL4. Програмний пристрій 4-2, що працює разом з реле контролю мастила 4-1, вимикає захист протягом перших 50 с пуску компресора. Водорегулятор 5-1 регулює тиск конденсації.

Рівень заповнення холодильних систем випарника підтримується за перепадом температур терморегулюючим вентилям 7-2. Для контролю тиску нагнітання, всмоктування в маслосистемі встановлюються реле тиску 1-1, 2-1, 4-1. Вмикання та вимикання двигунів компресора та насоса можна здійснити за допомогою ключів управління, що встановлюються на щиті.

15.12. Автоматизація управління холодильними камерами

Схема автоматизації комплексної холодильної обробки м'ясопродуктів наведена на рис. 15.17.

Мікропроцесор централізованого контролю та регулювання контролює й підтримує постійну температуру (4° С) у камерах зберігання буженини. У контур регулювання входять термоперетворювач опору 1-1, установлений у камері, й електромагнітний клапан 2-1, установлений на трубопроводі подачі холодоагенту.

Мікропроцесор 14-1 контролює й підтримує постійну температуру (2° С) у тунелі для охолодження ковбас.

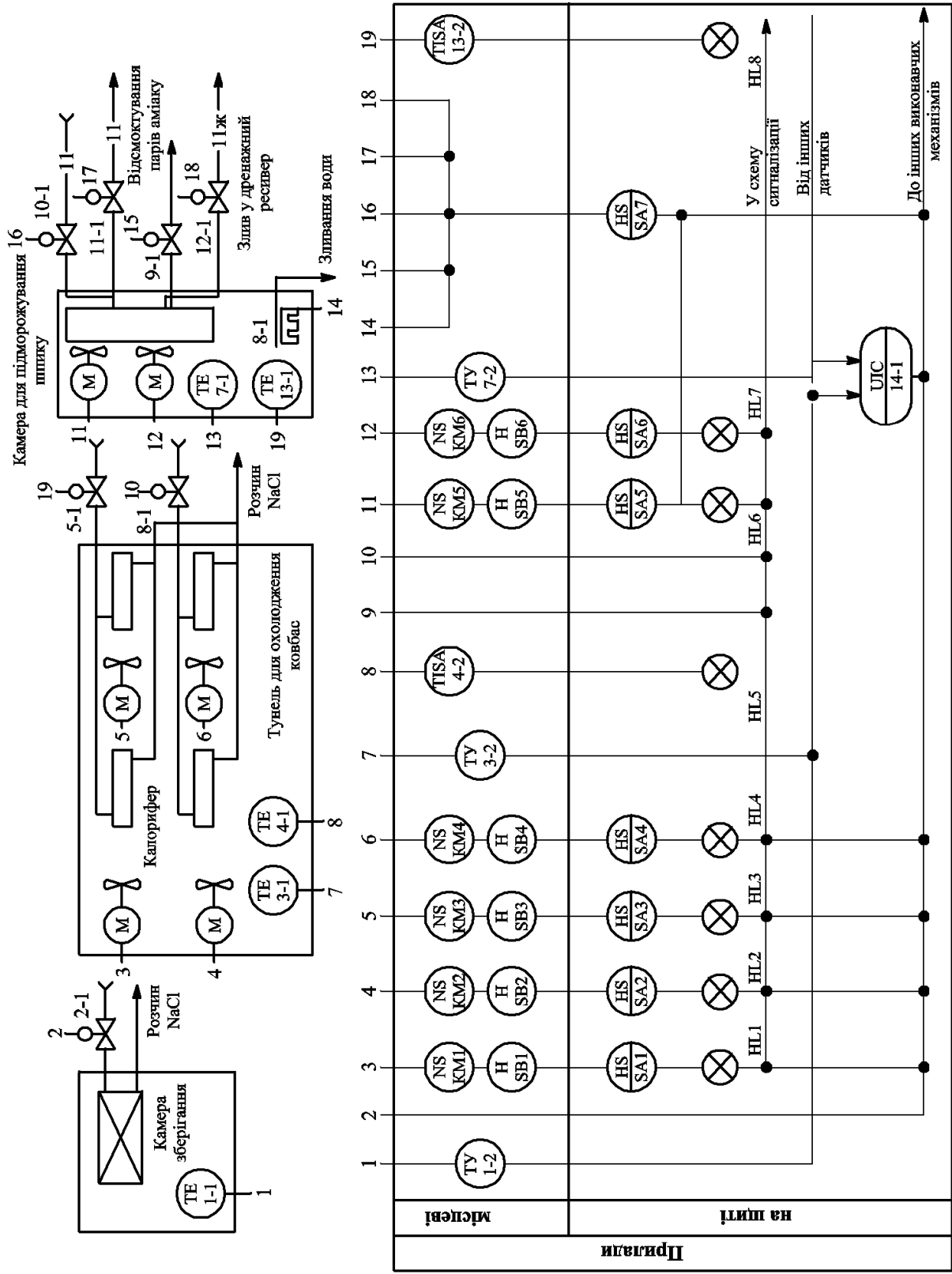


Рисунок 15.17 – Схема автоматизації комплексної холодної обробки м'ясопродуктів

У контур регулювання входять термоперетворювач опору 3-1 та електродвигуни вентиляторів у калорифері 1-го ступеня КМ1 і КМ2, а також електродвигуни вентиляторів у калорифері 2-го ступеня КМ3 і КМ4. Лампи НЛ1–НЛ4 сигналізують про роботу електродвигунів.

Сигнал «Розморожування» подається датчиками-реле температури 4-1 і 4-2, а також сигнальним табло НЛ5. Машина централізованого контролю та регулювання через кожні 3 год відключає на 15 хв соленоїдні мембранні вентиля 5-1 і 6-1 подачі розсолу для розморожування калориферів.

Мікропроцесор 14-1 контролює й підтримує постійну температуру (-20°C) у камері підморожування шпику. У контур регулювання входять термоперетворювач опору 7-1 і соленоїдний мембранний ventиль 10-1. Схемою передбачено відкриття соленоїдного вентиля 9-1 під час роботи й закриття його під час розморожування, відкриття вентиля 11-1 через 20 хв після початку розморожування і закриття його при роботі, відкриття вентиля 12-1 через 10 хв після початку розморожування і закриття його при роботі. Під час розморожування вмикається електрообігрівання зливних труб, яке через 60 хв вимикається.

Мікропроцесор централізованого контролю й регулювання також управляє вмиканням електродвигунів вентиляторів КМ5 і КМ6 під час розморожування і вмиканням при роботі. Лампи НЛ6 і НЛ7 сигналізують про роботу електродвигунів. Сигнали про процес відтаювання подаються реле температури 13-1 і 13-2 і сигнальним табло НЛ8.

Місцеве управління електродвигунами здійснюється відповідними кнопковими вимикачами HSB1–HSB6. Для переходу на дистанційне управління використовуються перемикачі SA1–SA6.

Регулювання температурного режиму та видалення інею з приладів охолодження в камерах із плюсовою температурою здійснюються автоматично, відповідно до заданої програми.

Температурний режим у камерах із мінусовою температурою (за винятком камер заморожування м'яса) регулюється автоматично, а інші з приладів охолодження знімають вручну при роботі в режимі «Розморожування».

15.13. Схема автоматизації централізованого холодопостачання

Схемою автоматизації передбачено захист компресора від небезпечних режимів роботи: зниження тиску всмоктування, підвищення тиску нагнітання, перегріву обмоток електродвигуна, потрапляння рідкого холодоагенту на всмоктування компресора (для уникнення гідроудару), а також захист випарників і ресивера від переповнення рідким холодоагентом. Для підтримання рівня заповнення випарника використовуються теплорегулюючі вентиля, які також регулюють величину перегрівання холодоагента, який випаровується. Із досягненням тиску на лінії нагнітання 1,6 МПа вмикається один вентилятор, а якщо при цьому тиск зросте до 1,8 МПа (влітку), то увімкнеться другий вентилятор конденсатора (рис. 15.18).

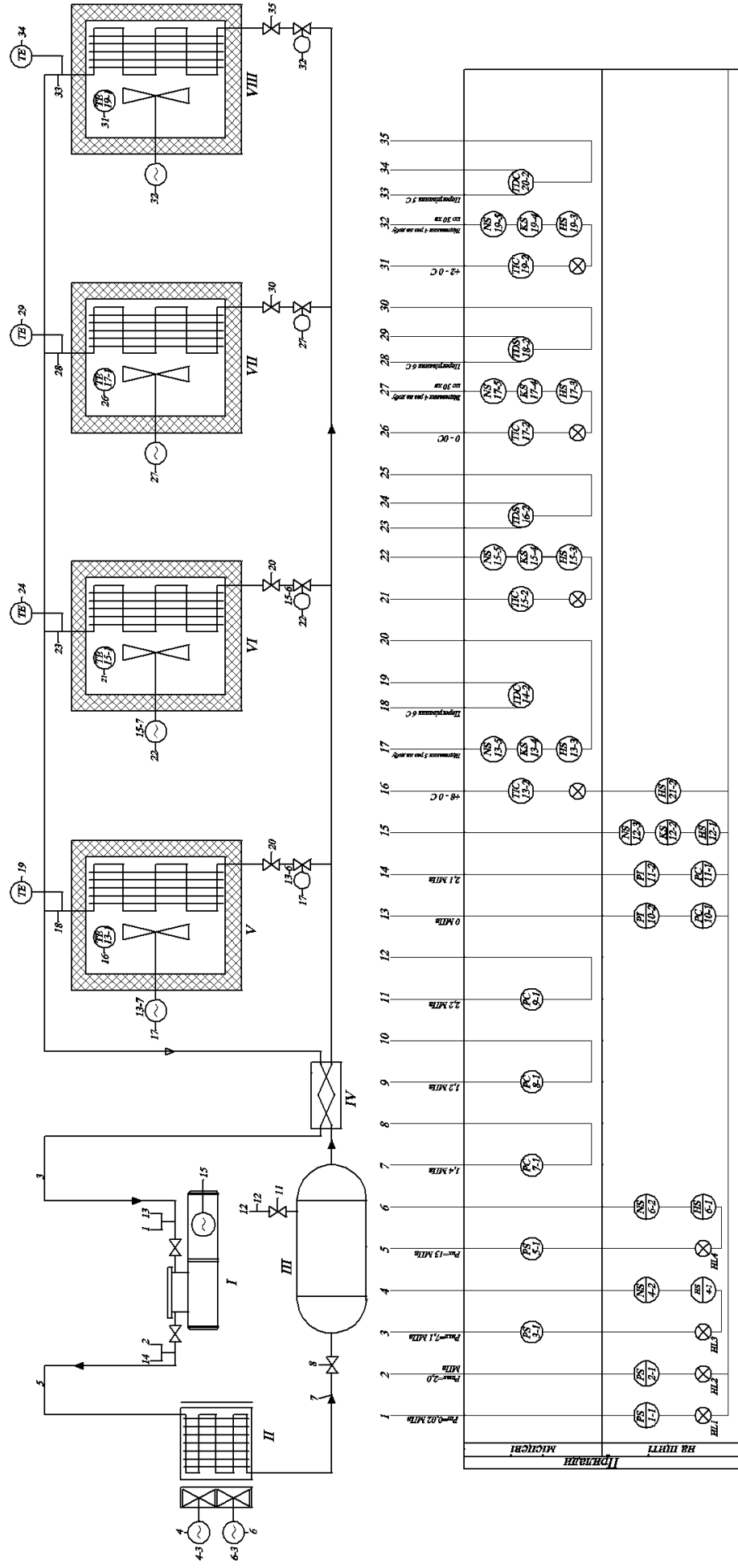


Рисунок 15.18 – Схема автоматизації централізованого холодопостачання

Конденсатор установлюється поза приміщенням, що значно покращує умови конденсації. Узимку, навпаки, система автоматизації підтримує тиск конденсації не нижче заданого параметра за допомогою регулятора тиску конденсації 7-1, який відкриває прохід холодоагенту тільки в разі досягнення 1,4 МПа. Також тиск конденсації регулюється в ресивері за допомогою регулятора тиску 8-1, який у разі зниження тиску в ресивері нижче 1,2 МПа відкриває прохід із лінії нагнітання (перед конденсатором) у ресивер, минаючи конденсатор. При цьому тиск у ресивері, а отже і перед ТРВ завжди підтримується на заданому рівні.

У ресивері також установлено аварійний клапан 9-1, розташований у верхній частині ресивера, який відкриває вихід парам холодоагенту в атмосферу в разі досягнення аварійного тиску в 22 МПа (у разі відмови реле тиску, установлених для вимкнення компресора). При цьому в першу чергу з ресивера будуть видалені неконденсовані домішки холодоагенту (наприклад, повітря, що яким-небудь чином потрапило в холодильну систему). Дані реле дублюються додатковими реле тиску 10-1 і 11-1, установленими для вимкнення компресора у разі досягнення 0 і 2,1 МПа відповідно. Також на щит винесені прилади вимірювання тиску (манометри) 10-2 і 11-2 та світлова сигналізація, що сигналізує про спрацювання певного РД (HL1, HL2).

У разі вимкнення компресора спрацьовує годинниковий механізм 12-2, який дозволяє вмикання компресора не раніше ніж за 6 хв після зупинки для уникнення вібрації компресора, що може негативно позначитися на терміні його експлуатації.

У разі досягнення в якій-небудь камері заданої температури датчик температури 19-1, 15-1, 17-1 або 20-1 подає сигнал на прилад управління 13-2, 15-2, 17-2 або 19-2, який через магнітний пускач 13-5, 15-5, 17-5 або 19-5 вимикає вентилятор повітроохолоджувачів 13-7, 15-7, 17-7 або 19-7 і закриває соленоїдний вентиль 13-6, 15-6, 17-6, 19-6. Відтавання снігової «шуби» з ребер повітроохолоджувачів здійснюється за допомогою реле часу 13-4, 15-4, 17-4 або 19-4 установлених для кожної камери на певний інтервал часу. Регулювання перегрівання холодоагенту, що випарувався з випарника, а також кількості рідкого холодоагенту, що надходить у випарник, здійснюється за допомогою ТРВ 14-2, 16-2, 18-2, 20-2, чутливий елемент якого 14-1, 16-1, 18-1, 20-1 установлений на всмоктувальних трубопроводах, які виходять із відповідного повітроохолоджувача.

При необхідній температурі у всіх камерах закриваються всі соленоїдні вентиля на рідинному трубопроводі, у результаті чого працюючий компресор відсмоктує пару, що залишилася холодоагенту з випарників і вакуумують систему. Досягши значення тиску, установленного на РД 1-1, компресор ввимикається, при цьому спрацьовує реле часу 12-2 і компресор зможе ввімкнутись не раніше ніж через 6 хв. Причому вакуумована система значно полегшить запуск компресора, що також позитивно позначається на терміні експлуатації компресора.

15.14. Автоматизація кондиціонування повітря

Комфортні умови для роботи людей і техніки у виробничих приміщеннях, перебігу технологічних процесів, зберігання сировини та готової продукції створюють за допомогою установок кондиціонування

повітря, що складаються з ряду механізмів, двох змішувальних камер і калориферів першого і другого підігрівання.

Узимку під час роботи установки зовнішнє повітря, усмоктане через патрубок у першу змішувальну камеру, змішується з циркуляційним повітрям приміщення. Співвідношення між витратами зовнішнього та циркулюючого повітря визначається положенням заслінок на патрубках. Повітря очищається фільтром від пилу, нагрівається в калорифері першого підігрівання і потрапляє у форсункову камеру, де розбризкується вода для зволоження повітря взимку і для охолодження його влітку. Із піддона форсункової камери вода до форсунок подається насосом. Температура в піддоні підтримується шляхом циркуляції води через холодильний агрегат. Вологе повітря, стан якого характеризується точкою роси, пройшовши крізь бризковідокремлювач, підігрівається взимку калорифером другого підігріву, набуваючи заданих температури й вологості. Повітря всмоктується вентилятором і подається в приміщення з камери, розташованої за калорифером другого змішувача, разом із повітрям вторинної рециркуляції влітку.

Показниками ефективності роботи установки кондиціонування повітря є точність підтримки вихідних параметрів – температури і вологості повітря в приміщенні, а також витрата енергії на нагрівання, зволоження або охолодження повітря. Ці показники залежать від багатьох вхідних і проміжних величин: температури і вологості зовнішнього повітря, температури води в піддоні форсункової камери; температури насиченого повітря після бризковідокремлювача та ін.

Підтримання заданого рівня вмісту вологи повітря після бризковідокремлювача і стабільної температури повітря, що подається в приміщення, є умовою кондиціонування повітря в приміщенні. Насичення повітря вологою забезпечується дрібним розбризкуванням води в форсунковій камері.

Узимку при невисокій температурі насиченого повітря його низький вологовміст не дозволить досягти необхідної вологості повітря в приміщенні, а підвищена температура після бризковідокремлювача викличе перезволоження повітря.

Улітку при відхиленнях температури насиченого повітря від заданої регулювання температури повітря в приміщенні за рахунок вторинної рециркуляції ускладнюється.

У зв'язку з особливостями цього процесу основні вимоги до автоматизації є такими: стабілізація температури насиченого повітря після бризковідокремлювача, стабілізація температури повітря в приміщенні з кондиціонером з урахуванням температури повітря в другій камері змішувача.

Система кондиціонування повітря є складним об'єктом автоматизації для побудови систем регулювання: через різні параметри приміщень і кондиціонера, значною постійної часу і чистого запізнення по каналах регулювання температури, обумовлених великими розмірами приміщень, взаємопов'язаність більшості параметрів кондиціонера, оскільки зміна однієї з

вхідних величин викликає зміну відразу декількох проміжних і вихідних параметрів; значні сезонні зміни параметрів зовнішнього повітря, що вимагають застосування різних способів регулюючих впливів (узимку зовнішнє повітря нагрівають і зволожують, улітку – охолоджують і осушують).

У зв'язку з цим улітку підтримання відносної вологості повітря в приміщенні досягається охолодженням зовнішнього повітря розбризкуванням холодної води в форсунковій камері. Температура води в піддоні форсункової камери підтримується за допомогою холодильної установки. Первинна рециркуляція і калорифери улітку відключені. Нагрівання до заданої температури здійснюється додаванням до зовнішнього повітря в другій камері змішувача теплого повітря вторинної рециркуляції з приміщення. Узимку вторинна рециркуляція відключається, а температура повітря підтримується шляхом впливу на подачу теплоносія до калорифера. Регулювання відносної вологості повітря в приміщенні за непрямим параметром забезпечує високу точність підтримання стану точки роси після бризковідокремлювача.

У зв'язку зі складністю об'єкта з кількома збурювальними впливами для цієї системи необхідно застосовувати багатоконтурні автоматичні системи регулювання з використанням інформації про зміну проміжних величин.

Системою автоматизації (рис. 15.19) передбачено автоматичне регулювання температури насиченого повітря після бризковідокремлювача, яке здійснюється, щоб підтримати вологовміст повітря в приміщенні, змінюючи подачу води до форсунок. Узимку контролюються витрати теплоносія в калорифері першого підігріву і співвідношення витрат повітря, що проходить через калорифер і відвідний патрубок. У цій схемі застосована двоконтурна структура автоматичної системи регулювання з використанням як додаткового сигналу зміни температури повітря після калорифера першого підігріву. Сигнал про зміну температури після калорифера сприймає регулювальний блок 3-5 і виробляє сигнал відхилення, спрямований на компенсацію виниклої зміни вхідних і проміжних параметрів. Якщо цього впливу виявляється недостатньо для стабілізації вихідної величини, регулювальний блок 3-5 виробляє додатковий коригувальний сигнал для доведення вихідного параметра до заданого значення. Температура повітря після калорифера і бризковідокремлювача вимірюється термометрами ТЕ 3-1 і ТЕ 3-2 із пневматичною дистанційною передачею. Регулювальний блок 3-5 формує сигнал, який від панелей управління НС 3-6, 3-7, 3-8 надходить до виконавчих механізмів (клапани) 3-11 і 3-12. Одночасно регулюючі дії вводяться секційною заслінкою за допомогою виконавчого механізму 3-10 і регулювальними клапанами 3-11 і 3-12. Виконавчі механізми 3-10 і 3-11 вимикаються з панелей НС 3-7 і НС 3-8 улітку.

Температура повітря в приміщенні з кондиціонером узимку регулюється змінами подачі теплоносія до калорифера другого підігріву і співвідношення витрат повітря, що проходить через калорифер і обвідний патрубок. Улітку температура автоматично регулюється зміною подачі повітря вторинної рециркуляції з приміщення в змішувальну камеру 2.

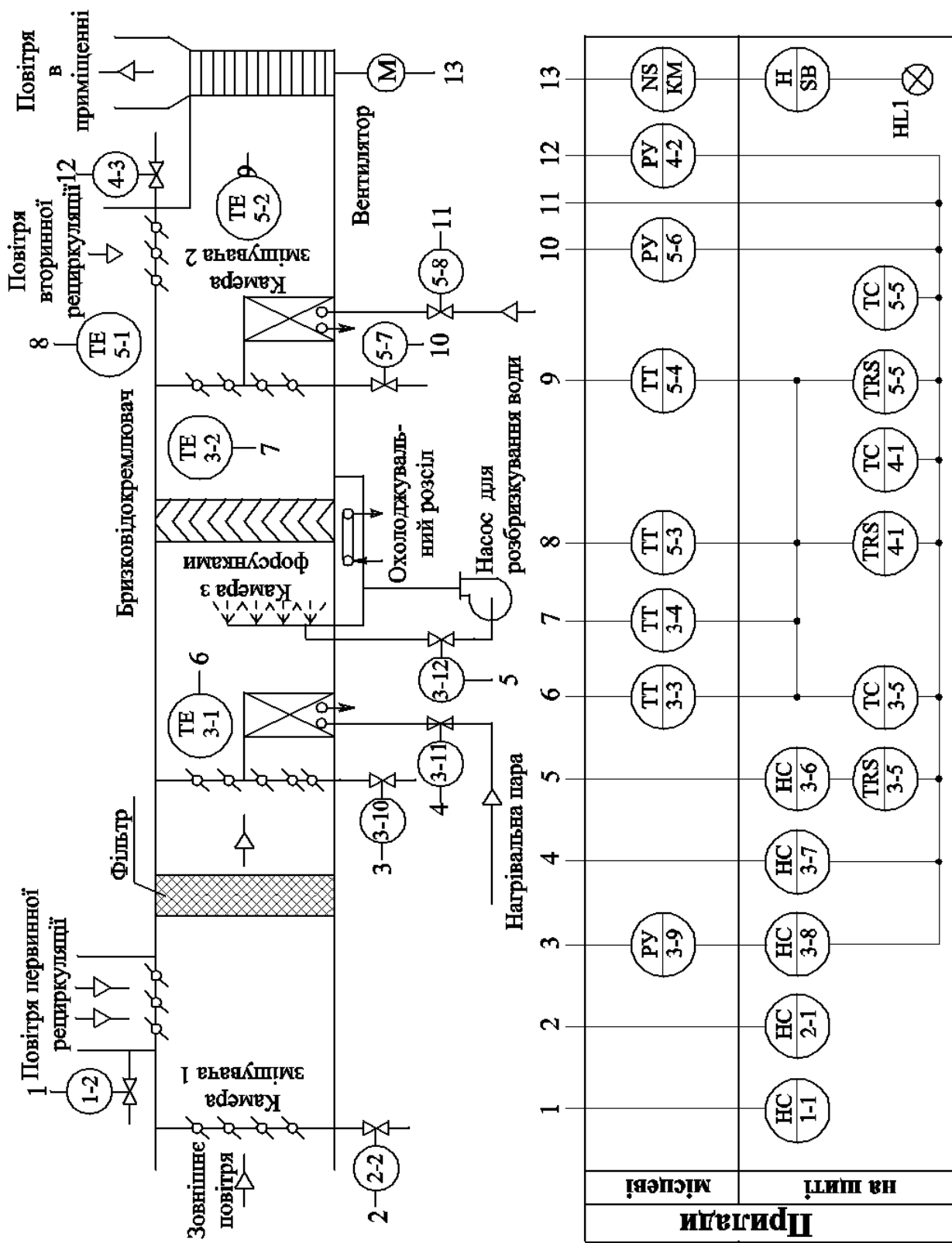


Рисунок 15.19 – Схема автоматизації конліпонування повітря

Для підтримання температури і вологості повітря в приміщенні застосовано двоконтурну систему регулювання з використанням додаткового сигналу зміни температури повітря в камері змішувача 2 після калорифера другого підігріву взимку, а влітку – температури повітря після бризковідокремлювача.

Температура повітря вимірюється термометрами 3-2, 5-1 і 5-2. Узимку регулювальний блок 5-5 сприймає сигнали зміни температури повітря в камері змішувача 2 і в приміщенні з кондиціонером і виробляє стабілізуючий вплив залежно від вхідного сигналу.

Вихідний сигнал регулювального блока 5-5 передається виконавчому механізму 5-7 (секційній заслінці перед калорифером другого підігріву) і регулювальному клапану 5-8 на подачі теплоносія в калорифер.

Регулювальний блок 5-5 улітку відключають, а температуру в приміщенні підтримує регулятор, що складається з перетворювачів температури 3-4 і 5-3, регулювального блоку 4-1, підсилювального елемента 4-2 і виконавчого механізму 4-3, що переставляє секційну заслінку на трубопроводі подачі в змішувальну камеру повітря другої рециркуляції.

Параметри процесу кондиціонування автоматично контролюються, і виконавчі механізми дистанційно управляються з панелей дистанційного керування 3-6, 3-7, 3-8, призначених для вимикання виконавчих механізмів при переході від одного сезонного режиму роботи до іншого.

Виконавчими механізмами 1-2, 2-2 (секційними заслінками на патрубках першої рециркуляції й надходження зовнішнього повітря) керують за допомогою панелей дистанційного керування 1-1 і 2-1.

Про роботу вентилятора сигналізує лампа HL1 від блокувальних контактів магнітного пускача електродвигуна вентилятора.

15.15. Автоматизація стерилізації консервів у автоклавах

Овочеві, м'ясні та рибні консерви стерилізують за температури 110...120° С в апаратах, що працюють під тиском, який вище за атмосферний. Універсальним апаратом для стерилізації консервів, що може здійснювати тепловий процес під атмосферним і надмірним тиском та використовувати для нагрівання пару або воду, є вертикальний автоклав АВ-2 (двосітчастий) або АВ-4 (чотирисітчастий).

Техніка стерилізації залежить від того, які банки підлягають стерилізації – жерстяні або скляні. Розглянемо автоматичну стерилізацію консервів у жерстяних банках у автоклавах (рис. 15.20). Робота автоклава відбувається в такій послідовності. У завантажений корзини з банками автоклав подається через барботер пара. При цьому треба усунути повітря, що залишилося в апараті, тобто здійснити продування автоклава. Для цього відкривається клапан продування, і повітря виходить у атмосферу. Продування триває приблизно 10 хв потім клапан продування закривається, і протягом установленого формулою стерилізації часу підігрівання в автоклав подається пара.

Після досягнення температури стерилізації подача пари майже припиняється, і починається період стерилізації, що відбувається за постійної температури. Після закінчення стерилізації припиняється подача пари, вмикається подача стисненого повітря для створення заданого тиску, щоб уникнути деформації банок. Потім вмикається подача охолоджувальної води, і повільно відкривається злив води для зниження тиску до атмосферного, температура води поступово знижується. Після досягнення температури 40° С відкривається клапан для повного спуску води з автоклава.

Програма зміни температури в автоклаві визначається формулою стерилізації певного виду консервів. Тиск у автоклаві змінюється відповідно до зміни температури.

Схемою автоматизації передбачено таке: автоматичний контроль температури й тиску в автоклаві (5-1), програмна зміна температури (6-2, 6-3) з виробленням управляючої дії на виконавчі механізми регулювання продування (7-2), подачі пари (8-2) та води (9-2); залежно від температури програмна зміна тиску в автоклаві (4-3) з виробленням управляючої дії на виконавчі механізми

Для управління виконавчими механізмами в ручному режимі використовуються панелі дистанційного управління 2-1, 3-1, 7-1, 8-1, 9-1 та 10-1, що встановлюються на щиті. Контроль роботи виконавчих механізмів здійснюється за допомогою сигнальних ламп HL1–HL6.

15.16. Автоматизація процесу випарювання

Випарювання, або концентрування харчових продуктів, застосовують під час приготування овочевих та фруктових паст, повидла, варення, джемів тощо. Його проводять під вакуумом за температур кипіння 60...80° С у вакуум-випарній установці. Вакуум-випарна установка періодичної дії (рис. 15.21) складається з вакуум-випарного апарата I; конденсатора II; вакуум-насоса III.

Робота установки відбувається в такій послідовності: після заповнення вакуум-апарата I початковим продуктом, для створення в системі вакууму вмикається вакуум-насос III. Вмикається подача пари в парову оболонку апарата для нагрівання продукту. У процесі варіння сокова пара, що утворюється під час випарювання води з продукту, відводиться в конденсатор II для конденсації. Варіння закінчується після досягнення в продукті заданої концентрації сухих речовин.

Схемою автоматизації передбачається стабілізація температури продукту в апараті, автоматичний контроль рівня продукту, тиску в апараті, концентрації сухих речовин у продукті. Рівень продукту в апараті контролюється за допомогою датчика рівня 2-1, сигнал з якого надходить на сигналізатор рівня 2-2. Регулювання температури продукту здійснюється за допомогою датчика температури 5-1 (манометричний термометр із пневматичною дистанційною передачею), сигнал з якого надходить на вторинний пневматичний, показувальний, самописний прилад із вбудованою станцією управління 5-2 і далі на регулятор 5-3, що через виконавчий механізм 5-4 діє на регулювальний орган подачі пари на нагрівання.

Для регулювання тиску пари в паропроводі застосовується регулятор тиску прямої дії 1-1. Контроль вакууму в апараті здійснюється мановакуумметром 4-1. Контроль концентрації сухих речовин у продукті здійснюється рефрактометром 6-1, 6-2. Із досягненням заданої концентрації сигнал від регулятора 6-3 надходить на виконавчий механізм 6-5, і паста виводиться з апарата, при цьому вмикаються сигнальна лампа HL3 та насос V.

Для управління електродвигунами насосів III, IV та V застосовуються кнопки 3-1, 7-1, 8-1. Лампи HL2, HL4, HL5 сигналізують про роботу електродвигунів насосів.

15.17. Автоматизація процесу ректифікації

Ректифікаційні установки застосовуються для розділення рідких однорідних сумішей на складові речовини (або групи речовин) у результаті протитечної взаємодії суміші парів і рідкої суміші.

Найпростіша система автоматизації ректифікаційної установки включає шість одноконтурних АСР (рис. 15.22). Загалом ця система забезпечує стабілізацію складу дистилату і підтримку матеріального й теплового балансу в установці.

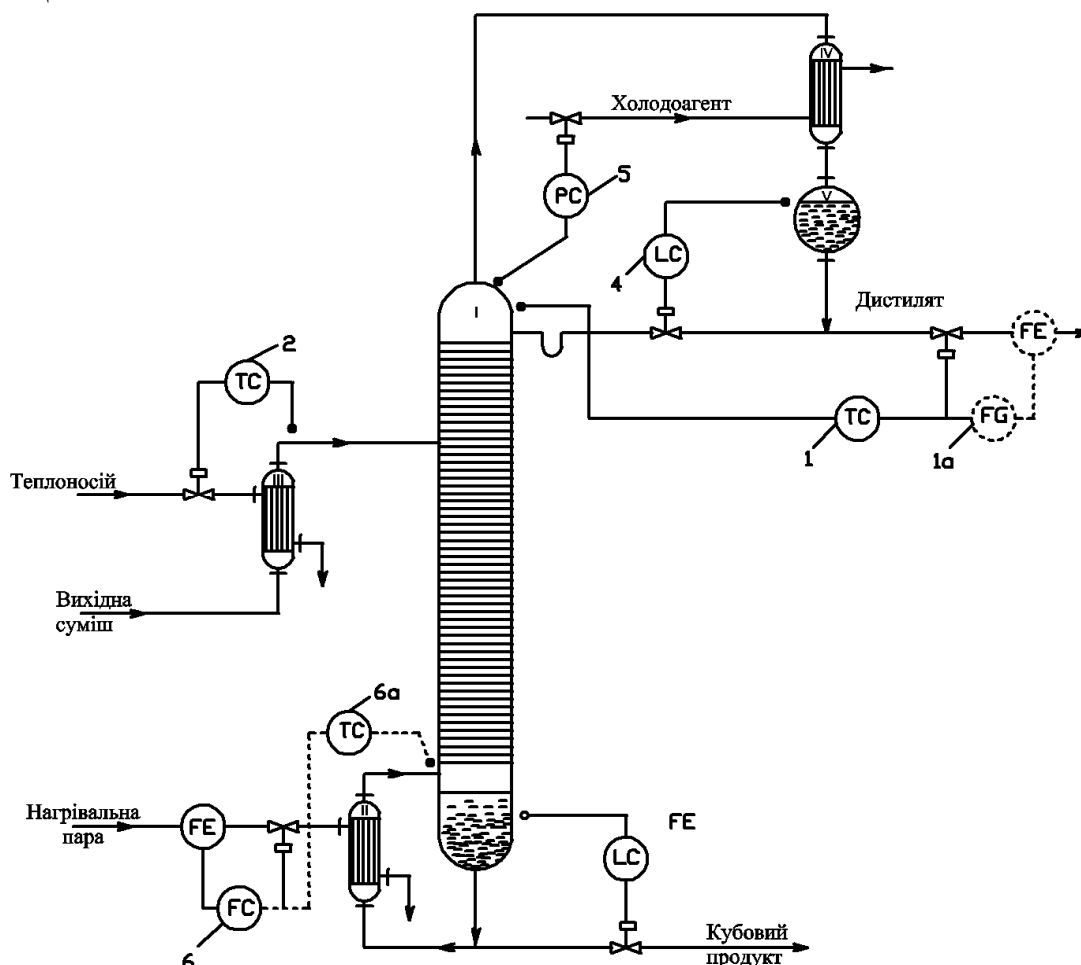


Рисунок 15.22 – Система автоматизації ректифікаційної установки: I – ректифікаційна колона; II – кип'ятильник; III – теплообмінник; IV – дефлегматор; V – зрівняльна ємність

Основним регулятором, що стабілізує склад дистилляту (при поділі бінарної суміші за постійного тиску), є регулятор температури верху колони 1, що впливає на відбір дистилляту. Регулятор температури 2 стабілізує температуру живлення. Регулятори рівня в кубі колони 3 і рівня під флегмовий ємності 4 забезпечують підтримання балансу в системі за рідною фазою, а регулятор тиску 5 у колоні – за паровою фазою. Регулятор витрати 6 стабілізує подачу нагрівальної пари в кип'ятильник. Також є регулятор температури низу колони 6а. Якщо завданням регулювання є стабілізація складу кубового продукту, то витрата нагрівальної пари задається регулятором температури низу колони 6а, а витрата дистилляту стабілізується регулятором 1а. Одночасне регулювання складу (або температури) верху і низу колони зазвичай не застосовують, бо ці координати пов'язані між собою і їх одночасне регулювання за зворотним зв'язком може призвести до зниження запасу стійкості системи.

15.18. Автоматизація процесу конвективного сушіння

Об'єктом керування є камерна конвективна сушарка з рециркуляцією повітря. Камерна сушарка □ тепловий апарат періодичної дії, призначений для теплового сушіння продуктів харчування (рис. 15.23). Продукт сушиться у двох камерах підігрітим повітрям із примусовою циркуляцією і частковою рециркуляцією.

Каркас сушарки виготовлено з прокатної сталі та облицьовано панелями, які складаються з двох сталевих стінок, скріплених між собою розпірками. Для теплоізоляції панелі заповнюють мінеральною ватою. Сушарка в середині розділена на чотири окремі камери. Перша камера використовується для встановлення обладнання для підігрівання повітря. Друга камера служить для подачі повітря в робочі камери. На її стінках встановлено, заслінки, якими регулюють рівномірність руху повітря по висоті робочих камер, обладнаних двома дверима. Повітря підігрівається на двох установках, розташованих у першій камері. Установку обладнано восьовими вентиляторами в циліндричному корпусі, закритому з одного боку сіткою. Розтруб з'єднує циліндричний корпус із калорифером. Дифузор з'єднує обидві установки для підігрівання повітря з камерою 2.

У рециркуляційних патрубків є заслінки для регулювання кількості поступаючого повітря, що надходить. Калорифери обігріваються парою, яка надходить із цехової магістралі. Конденсат збирається в магістралі й відводиться через конденсатовідводчик. Сушарка встановлюється на фундаменті, у якому повинні бути канавки для видалення охолодженого вологого повітря.

Етажерки рухаються в робочих камерах за напрямними планками. Етажерка оснащена решіткою, прикріпленою до решіток із напрямними планками, на яких можна встановити 50 решітчастих листів, на яких розкладають рівномірним шаром підготовлений до сушіння продукт. Етажерки

з листами, заповненими продуктом, вкочують у робочі камери сушарки, двері щільно закривають, вмикають вентилятор і подають пару в калорифери.

Повітря з приміщення, проходячи крізь сітку, вентилятором нагнітається через калорифери, дифузор, камеру 2 і заслінки в робочі камери. Нагріте повітря, проходячи через етажерки, нагріває продукт і вбирає частину його вологи. Охолоджене, з підвищеною вологістю, повітря збирається в каналах. Більша частина повітря видаляється з сушарки, невелика частина \square через рециркуляційний патрубок направляється в циліндричний корпус, змішується зі свіжим повітрям і нагнітається вентилятором. Заданий тепловий режим підтримується автоматично. Показниками ефективності процесу сушіння є вологість продукту на виході з сушарки m_2 , а метою управління процесом – підтримання визначеного значення m_2 за найменших витрат тепла.

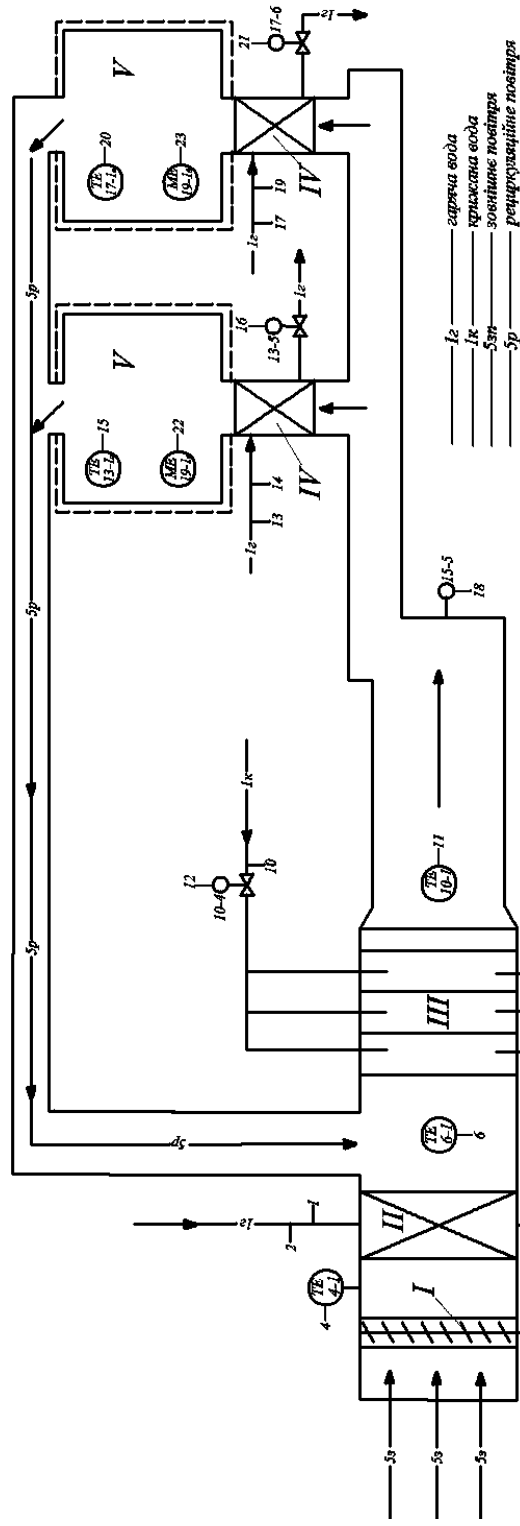
Значення вологості продукту на виході з сушарки m_2 залежить від початкової вологості й витрати продукту m_1 і Q_n , які визначаються швидкістю сушильного агента V_a , який визначається режимом вентилявання, температурою сушильного агента по даній температурі, яка визначається тиском пари в калориферах (витратою пари); товщини шару продукту на листі, який залежить від надходження продукту Q_n .

Аналіз зв'язків між зазначеними параметрами показує, що для управління процесом потрібно стабілізувати температуру агента шляхом зміни кількості підведення тепла в калорифери зон (зміни витрати пари). Інтенсифікація виробництва може бути досягнута шляхом використання прогресивної технології сушіння з поетапно змінюваною вологістю і використання системи автоматичного регулювання температурних режимів сушіння.

Функціональна система автоматизації включає контури регулювання температури повітря після калорифера першого підігріву і сухого повітроохолоджувача, контур регулювання температури повітря, яке надходить у сушильну камеру, контур захисту калорифера першого підігріву від промерзання і контур регулювання продуктивності вентилятора. Система автоматизації здійснює два режими роботи системи кондиціонування \square «зимовий» і «літній». При зимовому режимі зовнішнє повітря через приймальний клапан, який пропускає 10% зовнішнього повітря й управляється виконавчим механізмом 11-4, надходить у камеру змішування, попередньо підігріваючись у калорифері першого підігріву.

Температуру суміші й рециркуляційного повітря вимірюють термометром опору, значення якого підтримується за допомогою регулятора температури 6-2 первинного вимірювального перетворювача 6-1, встановленого в камері змішування.

Далі повітря потрапляє в сухий повітроохолоджувач. Контур регулювання температури повітря після сухого повітроохолоджувача, який складається з первинного вимірювального перетворювача температури 10-1, вторинного приладу 10-2, задатчика регулятора 10-5 і виконавчого механізму 10-4, працює в трьох режимах залежно від значення регульованої вологості повітря.



- V Сушальні камери
- IV Котлофер другого підігріву
- III Потірохолоджувач
- II Котлофер першого підігріву
- I Приймальний клапан

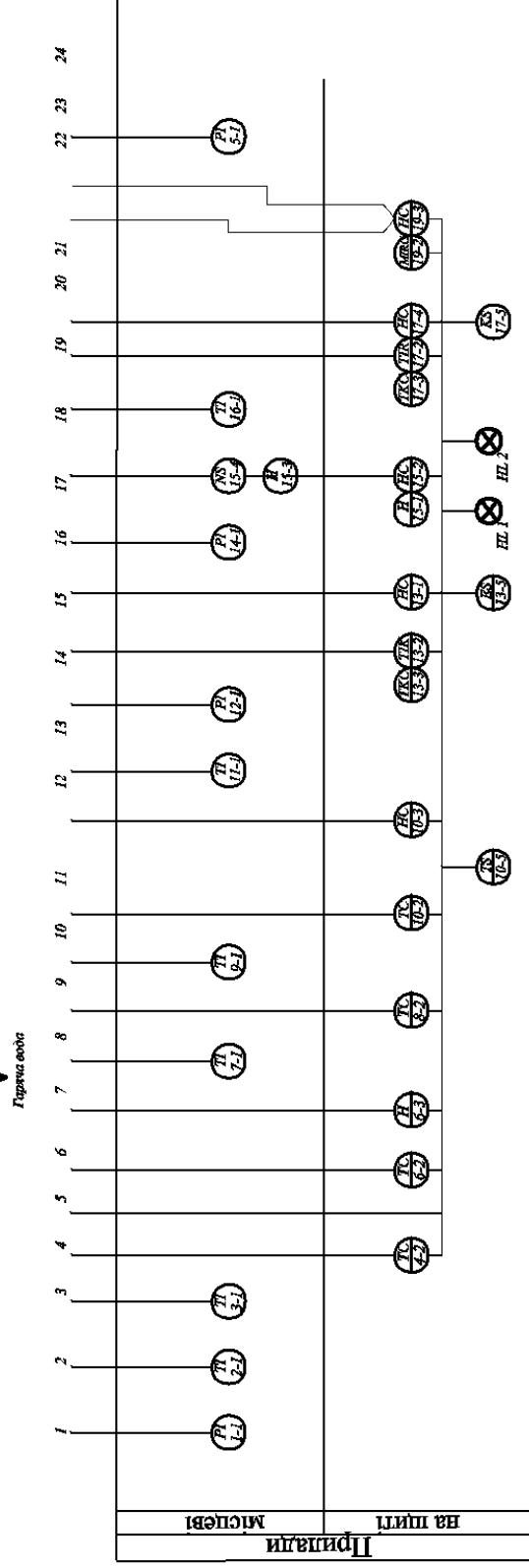


Рисунок 15.23 — Система автоматизації процесу конвективного сушіння

Перемикання з одного режиму регульованої відносної вологості повітря на інший режим оператор здійснює за допомогою задатчика 10-5 регулятора. Повітря, оброблене в сухому повітроохолоджувачі, повітроводом подається через калорифер другого підігріву 4 в сушильні камери. Точність регулювання температури в сушильній камері становить $\pm 1^{\circ}\text{C}$. При літньому режимі роботи контур регулювання температури повітря після калорифера першого підігріву відключено.

Зовнішнє повітря через приймальний клапан, керований виконавчим механізмом 4-3, надходить у камеру змішування, далі проходить через сухий повітроохолоджувач без підігрівання. Подальша обробка повітря аналогічна обробці при зимовому режимі роботи.

Розглянемо розробку і технічну реалізацію окремих контурів управління. Контур управління припливним вентилятором разом із регулюванням температури припливного повітря після калорифера першого підігріву і захисту калорифера від промерзання діє таким чином. Управління вентилятором припливного кондиціонування здійснюється з щита управління за допомогою кнопок 15-1 або 15-3, а перехід від ручного управління на автоматичне здійснюється за допомогою ключа управління 15-2. У схемі передбачене блокування виконавчого механізму 4-3 у момент запуску вентилятора через реле часу таким чином, що клапан відкривається тільки після попереднього підігрівання калорифера протягом 3 хв.

Схема захисту калорифера від промерзання включає регулятори температури 6-2, 8-2 з нормально відкритими контактами, які замикаються в разі підвищення температури.

Первинний вимірювальний перетворювач температури 8-1 регулятора 8-2 встановлений на трубопроводі в калорифері першого підігрівання води, і його робоча температура становить 32°C . Первинний вимірювальний перетворювач температури 4-1 регулятора 4-2 розміщений перед калорифером першого підігріву, і його робоче налаштування дорівнює 3°C .

Система регулювання температури повітря після калорифера першого підігріву починає діяти після спрацьовування контактів реле часу. Регулювання температури здійснюється регулятором 6-2. Схемою передбачено ручне управління виконавчим механізмом 6-4 за допомогою 6-3.

Контур регулювання температури повітря після сухого повітроохолоджувача складається з первинного вимірювального перетворювача температури 10-1, регулятора 10-2 і виконавчого механізму 10-4.

У схемі реалізується пропорційність – інтегральний закон регулювання температури на виході з повітроохолоджувача. Контур регулювання температури повітря в сушильній камері №1 складається з автоматичного електронного моста змінного струму 13-2, що працює в комплексі з термоперетворювачем опору 13-1а, напівпровідникового імпульсного переривника 13-5 і виконавчого механізму 13-6.

Сушильна камера як об'єкт автоматизації апроксимується періодичною ланкою першого порядку з чистим запізненням, тому схемою автоматизації

реалізується двопозиційний астатичний закон регулювання. У систему включаються напівпровідниковий імпульсний переривник 13-5, який є електронним реле часу зі змінною управлінням тривалості імпульсів.

Управляючий імпульс напівпровідникового імпульсного переривника подається на один із контактів регулюючого автоматичного параметра, що виробляє командний імпульс, який впливає на командний виконавчий механізм 13-6 регульовального клапана калорифера другого підігріву.

Схемою автоматизації передбачено також перехід на ручне управління виконавчими механізмами за допомогою ключів управління 10-3, 13-4, 17-4.

Контури регулювання температури повітря, яке подається в сушильну камеру №2, аналогічні технічним рішенням вищеописаної системи автоматичного регулювання сушильної камери № 1.

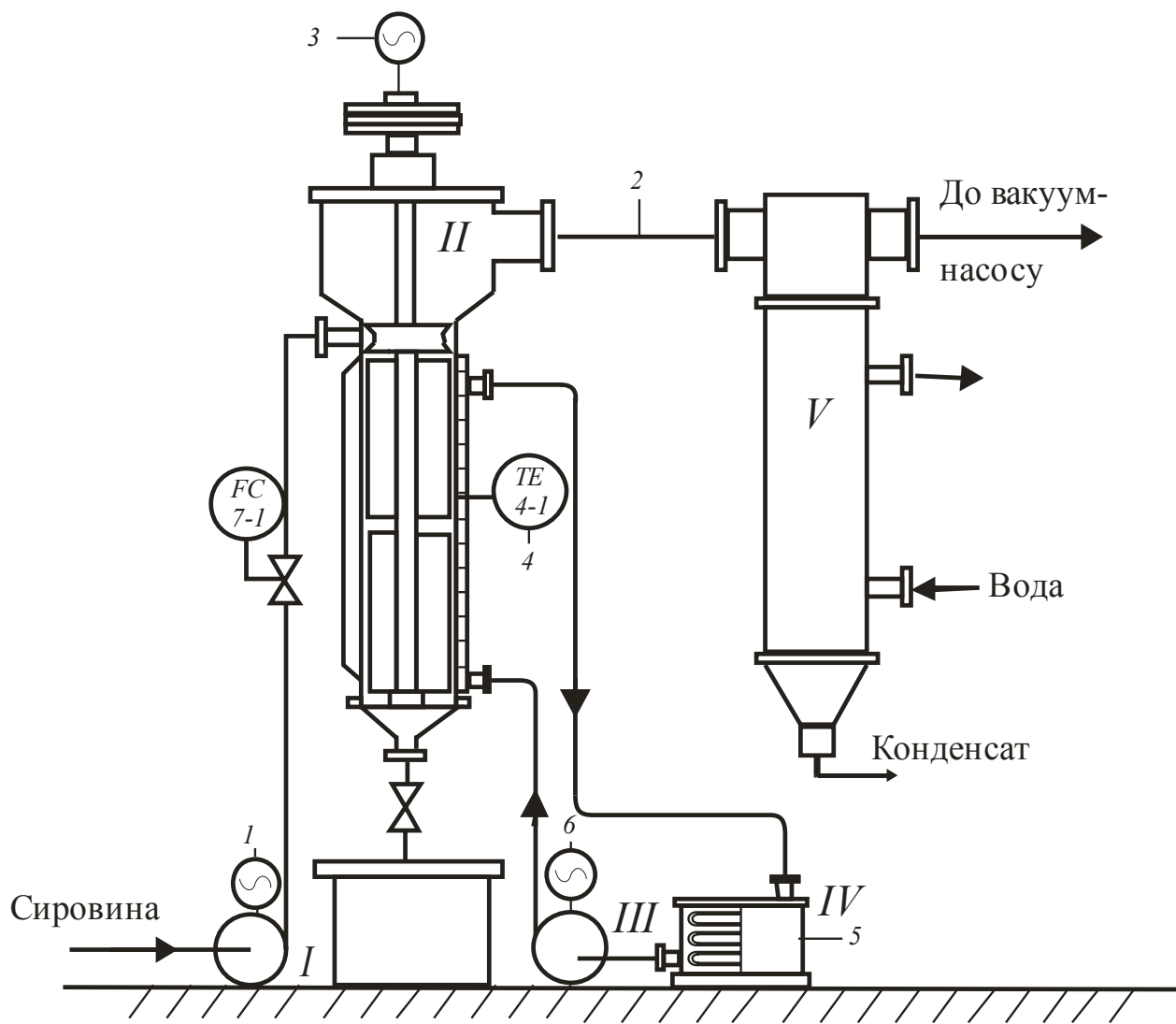
Контроль за температурою теплоносія, що надходить у калорифери, здійснюється за допомогою рідинних термометрів 2-1, 3-1, 7-1, 9-1, 11-1, 16-1. Для контролю тиску теплоносія використовуються манометри 1-1, 5-1, 12-1, 14-1. Вологість повітря в сушильних камерах контролюється вимірником вологості 19-2.

15.19. Автоматизація процесів концентрування в роторному плівковому апараті

Попередньо підігріта до 50° С рецептурна суміш подається на концентрування в роторний плівковий апарат (РПА) II шестеренним насосом I. Продуктивність установки РПА (рис. 15.24) стабілізується ротаметричним регулятором 7-1 прямої дії. Вакуум в апараті контролюється вакуумметром 2-1. Нагрівання здійснюється подачею циркуляційним насосом III в оболонку РПА попередньо нагрітого в ємності з теном IV проміжного теплоносія – кремнійорганічної рідини ПФМС-4, яка рухається під тиском вузькими кільцевими каналами нагрівальної оболонки апарата, у протитечії до продукту. Регулювання температури нагрівальної поверхні апарата відбувається за допомогою термопари 4-1, сигнал із якої подається на вторинний вимірювальний прилад 4-2 із вбудованою позиційною приставкою і далі на пускову апаратуру для управління електрообігрівачем, який розташовано в ємності з проміжним теплоносієм IV. Вторинна пара, що утворюється в процесі концентрування відводиться за допомогою вакуум-насоса до трубчастого конденсатора V. Уварений продукт збирається в ємності VI і відправляється на заключні операції фасування в тару, стерилізації, етикетування.

Схема автоматизації забезпечує безпечний режим роботи апарата, застерігаючи світловим сигналом у разі порушення в роботі якогось параметра.

Схемою автоматизації установки РПА передбачено автоматичний і ручний запуск електродвигунів. Для цього за місцем і на щиті керування встановлені кнопки та ключі вибору режиму.



Прилади		1	2	3	4	5	6
На щиті	Місцеві		PI 2-1			NS 4-4	
	На щиті	NS 1-2 H 1-1 HL 12		NS 3-2 H 3-1 HL 14	TIC 4-2 H 4-3		NS 6-2 H 6-1 HL 15

Рисунок 15.24 – Система автоматизації ректифікаційної установки

Розділ 16. Автоматизація устаткування підприємств харчування

16.1. Технологічні процеси підприємств харчування як об'єкти автоматизації

Основу автоматизації процесів та устаткування підприємств харчування складають локальні системи автоматичного контролю, сигналізації, регулювання, програмного управління, захисту та блокування. Ці системи створюються в більшості випадків на базі електричних засобів автоматизації.

Теплові технологічні апарати характеризуються великою інерційністю та запізненням, тому для стабілізації регульованої змінної (температури, тиску, рівня) застосовують зазвичай позиційні регулювання. Параметри автоколивань (амплітуда та період) залежать від діапазону настроювання регулятора, інерційності та навантаження об'єкта.

Діапазон настроювання, тобто верхнє та нижнє задане значення регульованої змінної, установлюється на малоінерційних об'єктах (харчоварильні казани, фритюрниці, водонагрівачі тощо) для зменшення частоти перемикачів, щоб уникнути скорочення строку роботи АСР, а технологічні вимоги до процесів у цих апаратах допускають коливання регульованої змінної у певних межах. У більш інерційних теплових апаратах (жарильні та пекарські шафи, сковороди) встановлюють тільки максимальне значення регульованого параметра. Оскільки двопозиційний регулятор дає сигнал на повне вмикання або вимикання тенів, ці регулятори використовують також у системах аварійного захисту технологічного обладнання, наприклад, від «сухої ходи» (котли, водонагрівачі). Завантаження теж впливає на параметри автоколивань. Неповне завантаження апарата призводить до збільшення амплітуди коливань регульованої змінної. Теплові технологічні апарати з електричним обігріванням (за типом технологічного процесу) можна поділити на варильні та жарильні.

Автоматизація механічних процесів підприємств харчування складається з систем автоматичного управління електроприводу, систем блокування, що забезпечують за допомогою кінцевих вимикачів відключення електроприводу в разі порушення правил експлуатації механічного устаткування – хліборізок, кутерів тощо.

16.2. Автоматизація процесів варіння

Варильний котел КІТЭСМ-60М (електричний секційний модульований), принципову електричну схему якого наведено на рис. 16.1, має два режими роботи: слабке нагрівання після закипання (режим І) і повне вимикання після закипання (режим ІІ).

Електричне живлення котла здійснюється від трифазної мережі з напругою 380/220 В. Силове коло складається з трьох ТЕНів загальною

потужністю 9,5 кВт, які можуть з'єднуватися в зірку або трикутник. Живлення кола управління здійснюється напругою 220 В через плавкий запобіжник *F1*.

У режимі роботи I (перемикач *S3*) здійснюється варіння супів, борщів та інших страв. Із подачею напруги від вторинних обмоток трансформатора *T* отримує живлення котушка управління реле *K6* у колі електродного датчика рівня води *E4* і біля сигнальних ламп *H1*, *H2* і *H3*. Із достатнім рівнем води котушка реле *K6* знаходиться під напругою, контакт *K6.1* замкнений, коло управління підготовлене до роботи.

Під час натискання пускової кнопки *S2* вмикається котушка реле *K1*, і замикається його контакт *K1.1*, що забезпечує блокування пускової кнопки і живлення інших мереж управління. Обмотка магнітного пускача *K2* при цьому включена і через контакти *K2.1*, *K2.2*, *K2.3* забезпечується електроживлення ТЕНів, а через допоміжний контакт *K2.4* □ живлення лампи *H1*, що сигналізує про режим «сильне нагрівання». Із досягненням верхнього значення тиску перемикається контакт *B* електроконтактного манометра і вмикається в коло котушка реле *K5*, яка самоблокується своїм контактом *K5.3*, і шунтується контакт «макс» манометра. Одночасно замикається контакт *K5.5* і готує до ввімкнення реле *K4*, потім замикається контакт *K5.2* і готує до ввімкнення котушку магнітного пускача *K2*, контакт *K5.4* також розмикається. У результаті контакт *K5.1* розмикається, і магнітний пускач *K2* вимикається, розмикаючи свої силові контакти *K2.1*, *K2.2*, *K2.3*. Крім того, замикається контакт *K2.5* у колі котушки магнітного пускача *K3*, який своїми трьома силовими контактами *K3.1*, *K3.2* і *K3.3* і контактом *K3.4* забезпечує послідовне включення ТЕНів у фазну напругу. Контакт *K3.5* вмикає сигнальну лампу *H2* (слабке нагрівання).

Зі зниженням тиску до мінімально заданого значення замикається контакт «мін» манометра *B*, вмикається котушка реле *K4*, його контакти *K4.1*, *K4.2* і *K4.3* розмикаються. Водночас вимикаються котушки пускачів *K2* і *K3*, а також реле *K5*. Відбувається розмикання контактів *K5.3*, *K5.5*, *K5.2* і замикання контактів *K5.1* і *K5.4*. Реле *K4* вимикається і замикає свої контакти *K4.1*, *K4.2*, *K4.3*, що відповідає вхідному стану схеми. Захист від «сухого ходу» забезпечується вимкненням обмотки реле *K6*, розмиканням контакту *K6.1*, вимкненням котушки реле *K1*. При цьому контактом *K2.4* вмикається сигнальна лампа *H3*.

Варильний котел типу КЭ, принципову схему якого подано на рис. 16.2, призначений для готування перших страв, бульйонів, овочів, кип'ятіння молока. Електроживлення шести ТЕНів варильного котла проводиться через силові контакти магнітних пускачів *K1*, *K2*, і *K3*. Живлення кола управління напругою 220 В здійснюється через плавкі запобіжники *F1*, *F2* і контакти трипозиційного перемикача *S*. Живлення кола управління здійснюється під час замикання кола електродного датчика «Сухого ходу» *E7*, послідовно підключеного з котушкою реле *K4* до вторинної обмотки трансформатора *T*.

За умов достатнього рівня води в пароводяній оболонці вмикається котушка реле *K4*, через контакти *K4.1* якого вмикається сигнальна лампа *H*, а

через контакт *K4.2* □ інші кола управління. Котушки магнітних пускачів *K1* і *K2*

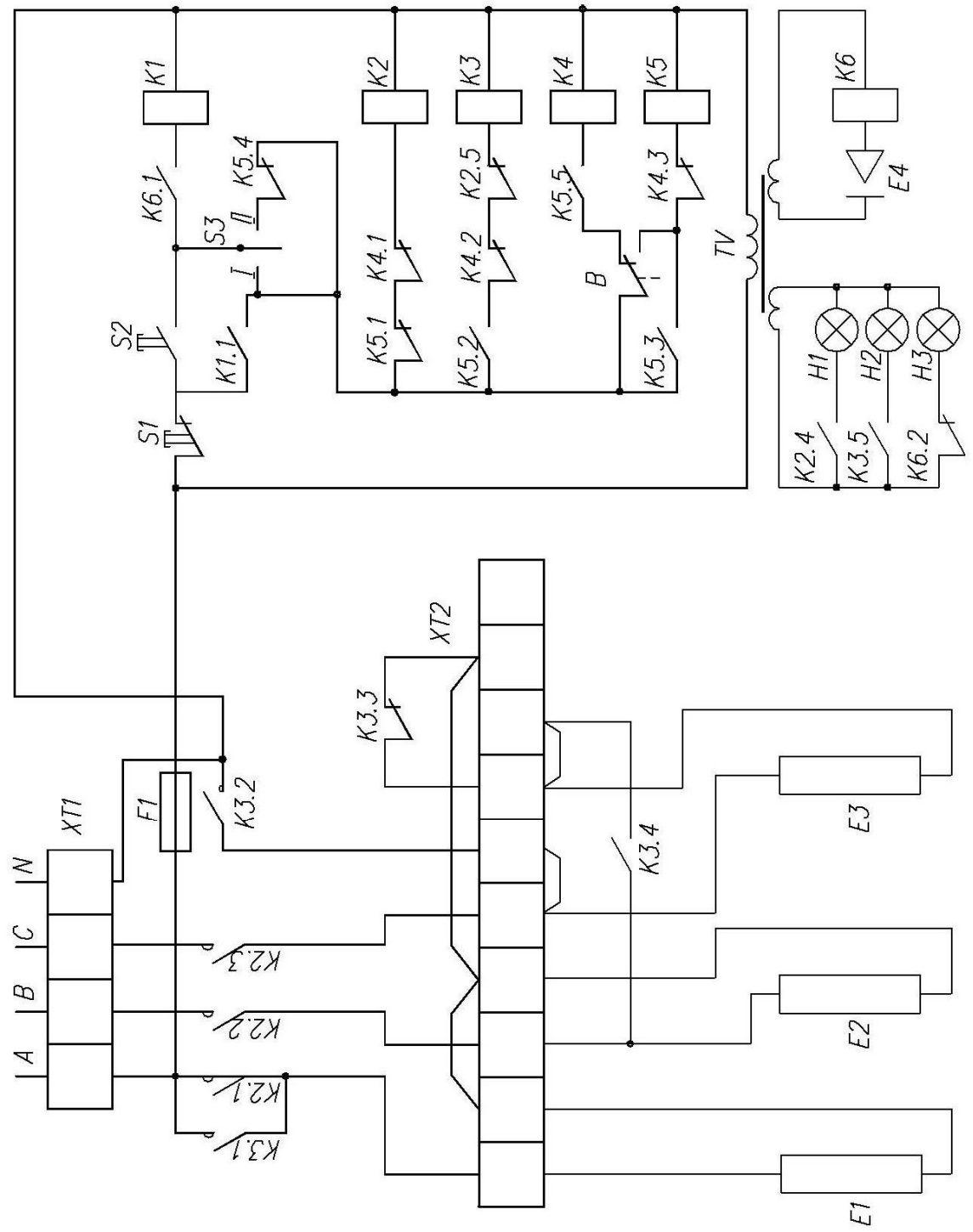


Рисунок 16.1 – Електрична схема варильного котла КПЭСМ-60М

отримують при цьому електроживлення і, замикаючи свої силові контакти *K1.1*, *K1.2*, *K1.3*, *K2.1*, *K2.2* і *K2.3*, забезпечують подачу напруги 380 В на ТЕНи (*E1*–*E6*), що відповідає режиму повного нагрівання. Допоміжні контакти *K1.4* і *K2.4* блокують відповідно контакти *S2* і *S3* перемикача *S*.

Із досягненням максимального значення тиску в пароводяній оболонці замикається контакт *B* реле тиску, вмикається котушка магнітного пускача *K3*, який своїми контактами перемикає ТЕНи залежно від режиму роботи котла (варіння, розігрівання, варіння на пару).

У режимах I (варіння) або III (варіння на пару) контакт *K3.3* вимикає котушки магнітних пускачів *K1* і *K2*, а контакти *K3.1* і *K3.2* вмикають між фазою *A* і нульовим дротом *N* один нагрівач *E4*. У режимі II (розігрівання) після відключення пускача *K1* його контакт *K1.4* вимикає пускач *K3* і всі ТЕНи.

Зниження тиску до заданого мінімального рівня спричиняє розмикання контакту *B* і відключення котушки пускача *K3*. У режимі III вмикається пускач *K1* і відповідно нагрівачі *E1*, *E2* і *E3*, тобто котел працює на 50 % потужності. Із досягненням верхньої межі встановленого тиску (температури) знову виявляється ввімкненим тільки нагрівач *E4*, і цикл повторюється.

Захист від «сухого ходу» забезпечується електродним датчиком *E7*, включеним у коло живлення котушки реле *K4*, яке вимикається в разі оголення електрода *E7* і розмикає свої контакти в колах живлення схеми управління (контакт *K4.2*) і сигнальної лампи (контакт *K1.1*). Котел вимикається в разі установа перемикача *S* у нульове положення.

16.3. Автоматизація процесів жарення

Кондитерська електрична піч КЭП-400 призначена для випікання широкого асортименту дрібних хлібобулочних і кондитерських виробів.

Піч розділена на дві частини, у лівій половині розташовано трубчасті електронагрівачі, вентилятор, парогенератор і система управління й сигналізації, у правій – пекарська камера з дверима.

Ліва частина печі має троє дверей. У верхні двері вбудований терморегулятор, за ними знаходиться вентилятор з електродвигуном для примусової циркуляції повітря, що нагрівається. У середні двері вбудовано вимикачі, реле часу, головний вмикач, сигнальні лампи і кнопку управління подачею води в парогенератор. За дверима знаходиться щит з електроустаткуванням управління і сигналізації, за яким знаходяться ТЕНи нагрівальної камери. За нижніми дверима знаходиться парогенератор із ТЕНами, а в нижньому лівому куті – патрубок для приєднання труби або шланга поживної води для парогенератора і патрубок для відведення конденсату.

Випікають хлібобулочні й кондитерські вироби на листах-подиках, установлених на стелажний візок, який після розстоювання тістових заготовок, викладених на листи, заковується в пекарську камеру печі.

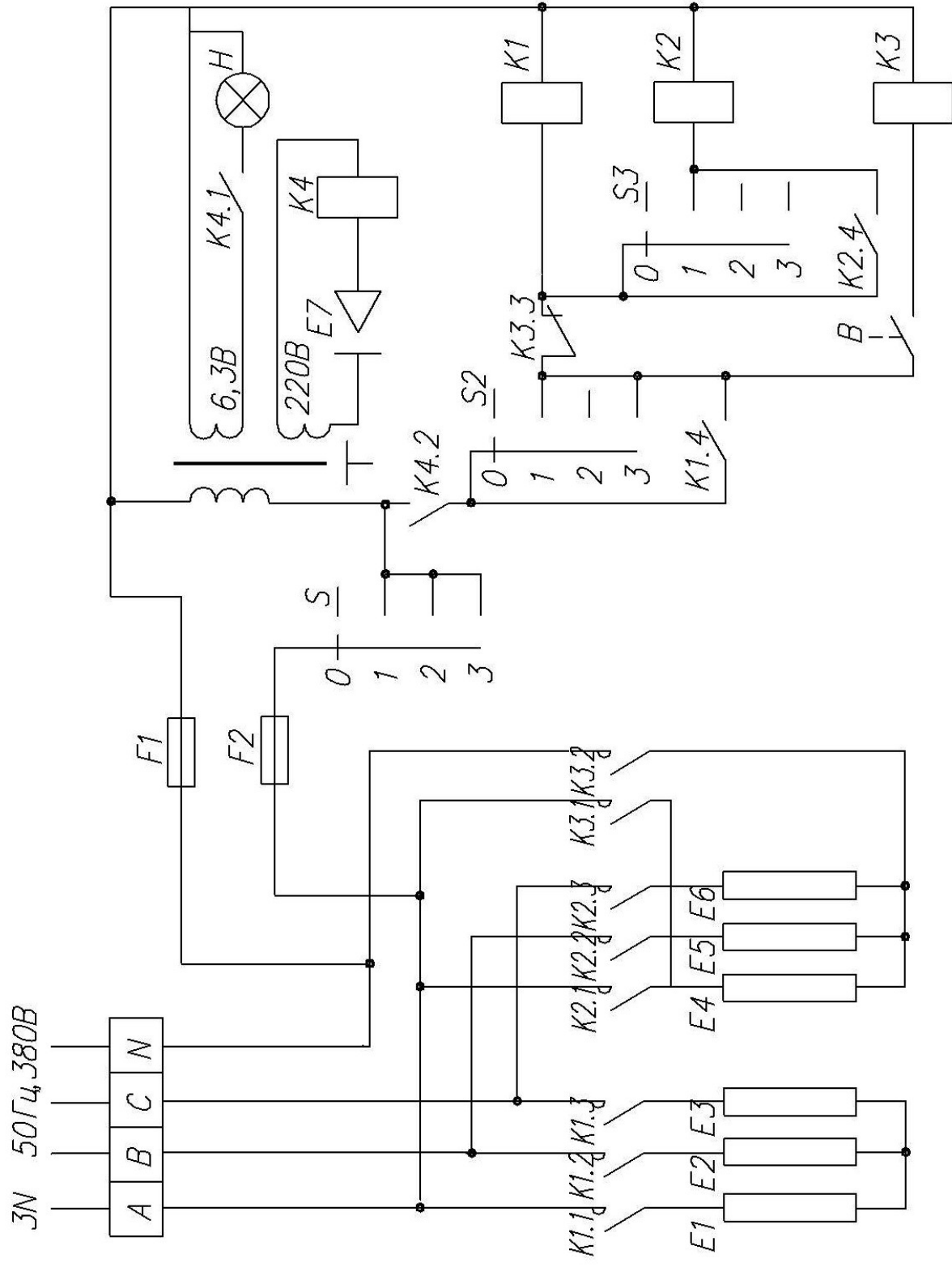


Рисунок 16.2 – Электрична схема варильного котла типу КЭ

Процес випікання в КЭП-400 автоматизовано за допомогою системи управління й сигналізації.

Двері пекарської камери мають електричне блокування, і робота печі можлива тільки із зачиненими дверима. Якщо двері відчиняються, установлений над дверима кінцевий вимикач автоматично перериває електричне коло управління, унаслідок чого обертовий механізм і вентилятор зупиняються, нагрівальні елементи вимикаються.

У нижній частині лівої половини печі розташований парогенератор, який складається з масивних чавунних плит, що нагріваються трубчастими електронагрівачами. Для захисту від перегрівання парогенератор обладнано терморегулятором, що вимикає нагрівальні елементи з досягненням граничної температури. Подача води в парогенератор проводиться магнітним клапаном, управління яким здійснюється натисканням на кнопку подачі води. Пара виводиться з пекарської камери через вентиляційну трубу.

Час випікання встановлюється на реле часу. Після закінчення встановленого часу випікання подаються звуковий і світловий сигнали.

Принципову електричну схему печі КЭП-400 наведено на рис. 16.7. Автоматичні вимикачі Q1–Q5 установлені в окремому виносному розподільному щиті, розташованому в безпосередній близькості від печі; E1–E12 і E13–E24 належить відповідно до I і II групи ТЕНів нагрівальної камери, E25–E36 – ТЕНи парогенератора. M1 – електродвигун механізму обертання возика, а M2 – електродвигун вентилятора.

Для ввімкнення печі необхідно ввімкнути на розподільному щиті автоматичні вимикачі Q1–Q5 і забезпечити замикання кінцевого вимикача ВК, для чого потрібно зачинити двері пекарської камери; установити термореле В2 (Т-32) на необхідну температуру, увімкнути перемикач S1 на I рівень і тумблер S5. При цьому вмикаються двигуни механізму обертання возика M1, вентилятора M2 і ТЕНи парогенератора E25–E36. Одночасно загоряються сигнальні лампи Н1, Н2, Н5 й освітлювальні Н9, Н10. Потім слід перевести перемикач S1 на II рівень і ввімкнути тумблери S6, S7. При цьому вмикаються ТЕНи нагрівальної камери E1...E24 і загоряються сигнальні лампи Н3, Н4. Коли температура в печі досягає сталого заданого значення, контакт терморегулятора В2 вимикає магнітні пускачі К1, К2 і відповідно ТЕНи E1– E24. При цьому зелені сигнальні лампи Н3, Н4 гаснуть, сповіщаючи про готовність печі до роботи.

Для захисту від перегрівання парогенератор обладнується термореле В1, що вимикає магнітний пускач К3, відповідно ТЕНи E25–E36 і зелену сигнальну лампу Н5 із досягненням чавунними плитами граничної температури. Із натисненням на кнопку S4 відбувається відкривання магнітного клапана Ем, і вода надходить у парогенератор.

Клапан потрібно тримати відкритим короткий час, оскільки дуже велика кількість води призводить до переохолодження чавунних плит. Найкращий результат досягається переривчастим подаванням води.

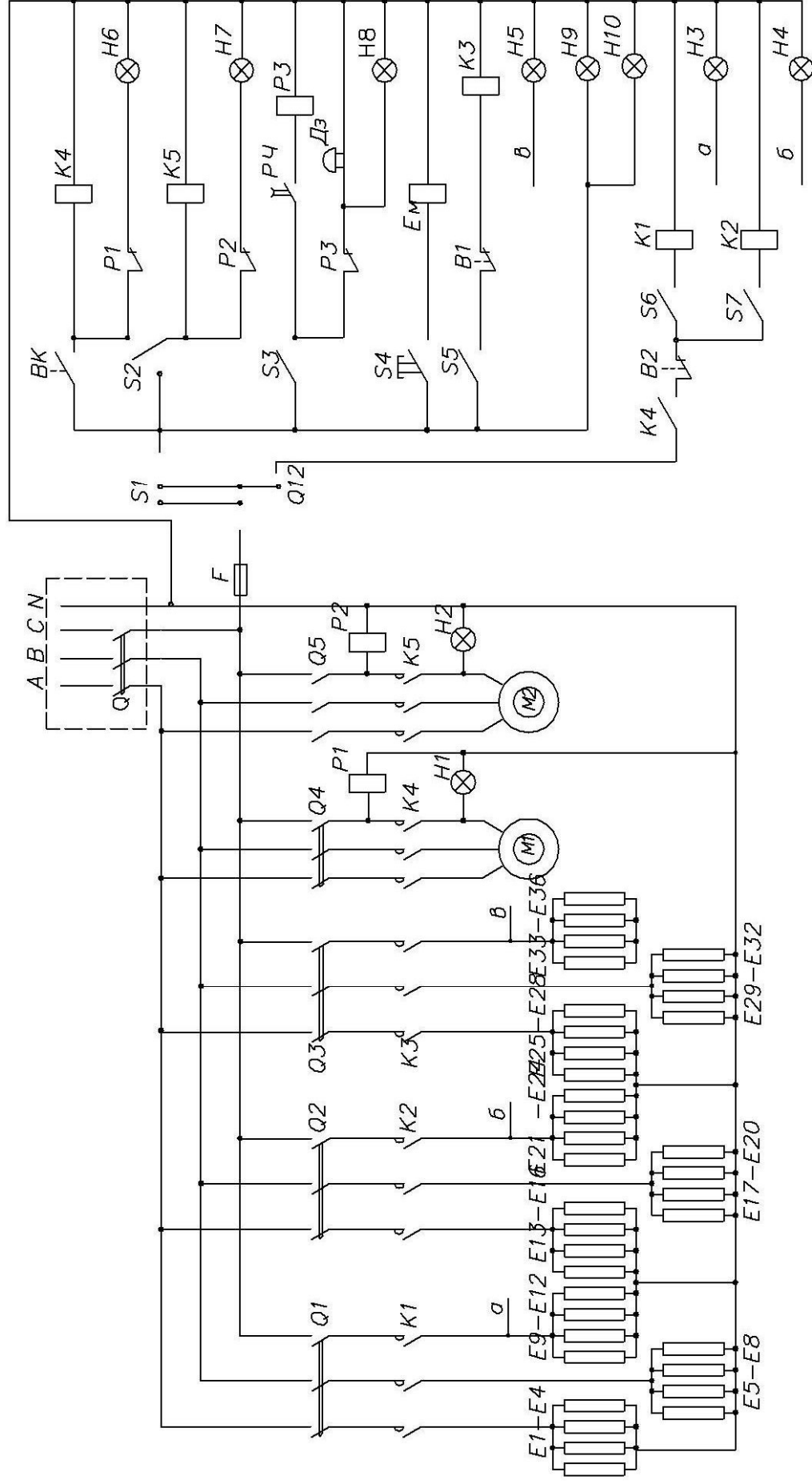


Рисунок 16.3 – Електрична схема кондитерської печі КЭП-400

Після установлення стелажного возика з тістовими заготовками в камері печі задають час теплової обробки на реле часу РЧ і вмикають тумблер S3.

Після закінчення заданого проміжку часу контакт РЧ розмикається. При цьому загоряється червона сигнальна лампа Н8 і вмикається дзвінок Дз.; для відключення світлового і звукового сигналів вимикають тумблер S3.

Сковорода СЭ-0,45. Особливістю схеми автоматизації сковороди СЭ-0,45 (рис. 16.4) є наявність кінцевих вимикачів S3, S4, S5. Кінцеві вимикачі S3 і S4 фіксують положення чаші, а S5 – положення кришки чаші. Для ввімкнення нагрівання необхідно, щоб сковорода знаходилась у горизонтальному положенні. При цьому замикаючий контакт S4 закритий, і для вмикання нагрівачів треба встановити термореле В (Т-32) на задану температуру, тобто замкнути контакт В. Магнітний пускач К1 включається і своїми силовими контактами вмикає нагрівачі E1–E9. Коли температура робочої поверхні чаші досягає заданої, контакт термореле В вимикається і нагрівання припиняється.

Для зливання вмісту чаші необхідно вимкнути нагрівачі (контакт термореле В розімкнений), відкрити кришку (контакт вимикача S5 закритий), натиснути на кнопку S1. При цьому вмикається пускач К2 і своїми контактами підключає електродвигун перекидання чаші сковороди. Із досягненням чашою вертикального положення пускач К2 вимикається розмикаючим контактом кінцевого вимикача S3, і електродвигун відключається. Для повернення чаші сковороди в горизонтальне положення натискають на кнопку S2, вмикається пускач К3, фази силового кола перемикаються, і електродвигун починає обертатися у зворотному напрямку. Коли чаша опиниться в горизонтальному положенні, кінцевий вимикач S4 розімкне коло пускача К3, і двигун відключиться.

Обертальна жаровня ЖВЭ-720 (рис. 16.5) провадить випікання млинців-напівфабрикатів. Підігрівання жарильного барабана здійснюється дев'ятьма інфрачервоними випромінювачами E1–E9.

Вмикання жаровні проводиться пусковою кнопкою S2, яка замикає коло електроживлення котушки магнітного пускача К1. Пускач К1 своїми силовими контактами К1.1, К1.2 і К1.3 подає напругу на нагрівальні спіралі E1, E2 і E3, шунтує контактом К1.4 кнопку S2, замикає контактом К1.5 коло електроживлення котушки магнітного пускача К2 і вмикає мілівольтметр mV. Силові контакти К2.1, К2.2 і К2.3 вмикають інші нагрівальні спіралі E4–E9.

Температура регулюється термоелектричним термометром у діапазоні від 160 до 190° С, крайні межі якого фіксуються стрілкою мілівольтметра mV на відповідному діленні його вимірювальної шкали. Із досягненням температури верхньої граничної межі розмикається контакт В мілівольтметра, вимикаються котушка магнітного пускача К2 і спіралі E4–E9. Зі зниженням температури контакт мілівольтметра В знову замикається, і магнітний пускач К2 своїми силовими контактами підключить до електромережі спіралі E4–E9. Відключення жаровні від електромережі проводиться кнопкою S1.

Електроживлення двигуна жарильного барабана і його відключення від мережі проводяться магнітним пускачем К3, що управляється кнопками S3 і S4.

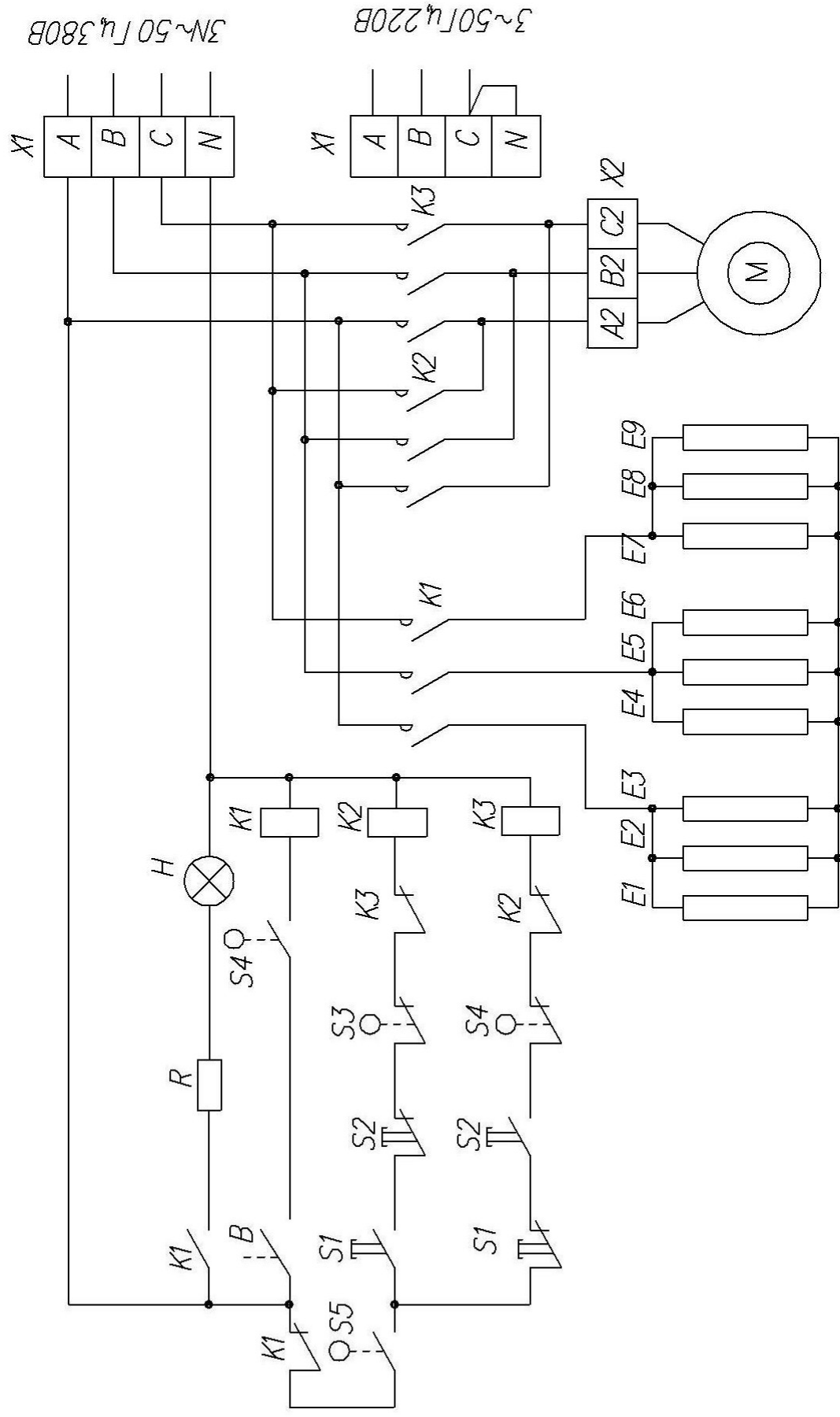


Рисунок 16.4 – Электрична схема скорости СЭ-0,45

У силове коло живлення електродвигуна включені теплові реле *F2* і плавкі запобіжники *F1*.

Автомат *АП-3М* призначено для формування і жарення пончиків у фритюрі. Електричну схему автомата подано на рис. 16.6.

Робота апарата відбувається в такій послідовності: спочатку заповнюють жарильний і доливальний баки фритюром і вмикають нагрівачі. Коли фритюр нагрівається до 140...150° С, вмикають електродвигун *M1*, що обертає через редуктор диск з лопатками. Потім бак для тіста заповнюють на дві третини продуктом і вмикають компресор. Пончик потрапляє в гарячий фритюр, обсмажується з одного боку, а потім перевертається та обжарюється з іншого. Готовий пончик потрапляє в лотік. Пара фритюру, що утворюється в процесі жарення, відсмоктується з жарильного бака вентилятором.

Для регулювання температури фритюру використовується пірометричний мілівольтметр *PU* в комплекті з термопарою *B1* і термореле *B2* (тип ТР-200).

Автомат вмикається за допомогою автоматичних вимикачів *F1* і *F2*. При цьому загоряється зелена лампа *H1*, що сигналізує про вмикання автомата. Потім на обмотку реле *K2* подається напруга через замкнений контакт *B4*.

Контакти реле *K2* вмикають електронагрівачі, про роботу яких сигналізує лампа *H2*. Оскільки електронагрівачі включені через діоди *V1-V3*, що здійснюють однонапівперіодне випрямлення, потужність нагрівання обмежена.

Як тільки температура фритюру досягає 190° С (верхня межа, встановлена на термореле *B2*), розмикається контакт *B2*, і напруга на обмотку реле *K2* не подається. Реле *K2* вимикається, нагрівання фритюру припиняється, і сигнальна лампа *H2* гасне. Апарат готовий до роботи. Перед початком жарення необхідно тумблером *S1* увімкнути компресор.

Зі зниженням температури фритюру нижче верхньої межі (190° С) замикається контакт *B2* і вмикається реле *K2*, яке своїми контактами вмикає нагрівачі на часткове нагрівання. Зі зниженням температури фритюру нижче ніж 175° С (нижня межа, встановлена на мілівольтметрі *PU*) замикаються контакти мілівольтметра, вмикається реле *K3*, яке своїми замикаючими контактами шунтує вентилі *V1*, *V2*, *V3*, вмикаючи тим самим нагрівачі на повну напругу.

Із підвищенням температури олії до верхньої межі (190° С), встановленої на мілівольтметрі *PU*, контакти мілівольтметра *PU.1* розмикаються, реле *K3* знеструмлюється, і нагрівачі перемикаються на однонапівперіодне напруження. Під час зливання олії з жарильного бака поворотом ручки зливного крана розмикається контакт вимикача *S4*, обривається коло живлення обмотки реле *K2*. Нагрівання фритюру припиняється.

Для вмикання електродвигуна *M1*, що приводить в дію диск із лопатками, треба натиснути кнопку *S3*. При цьому обмотка магнітного пускача *K1* виявиться під напругою, і пускач *K1* своїми контактами підключить двигун *M1* до мережі. Захист двигуна *M1* від перенавантажень здійснюється тепловими реле *F3* і *F4*.

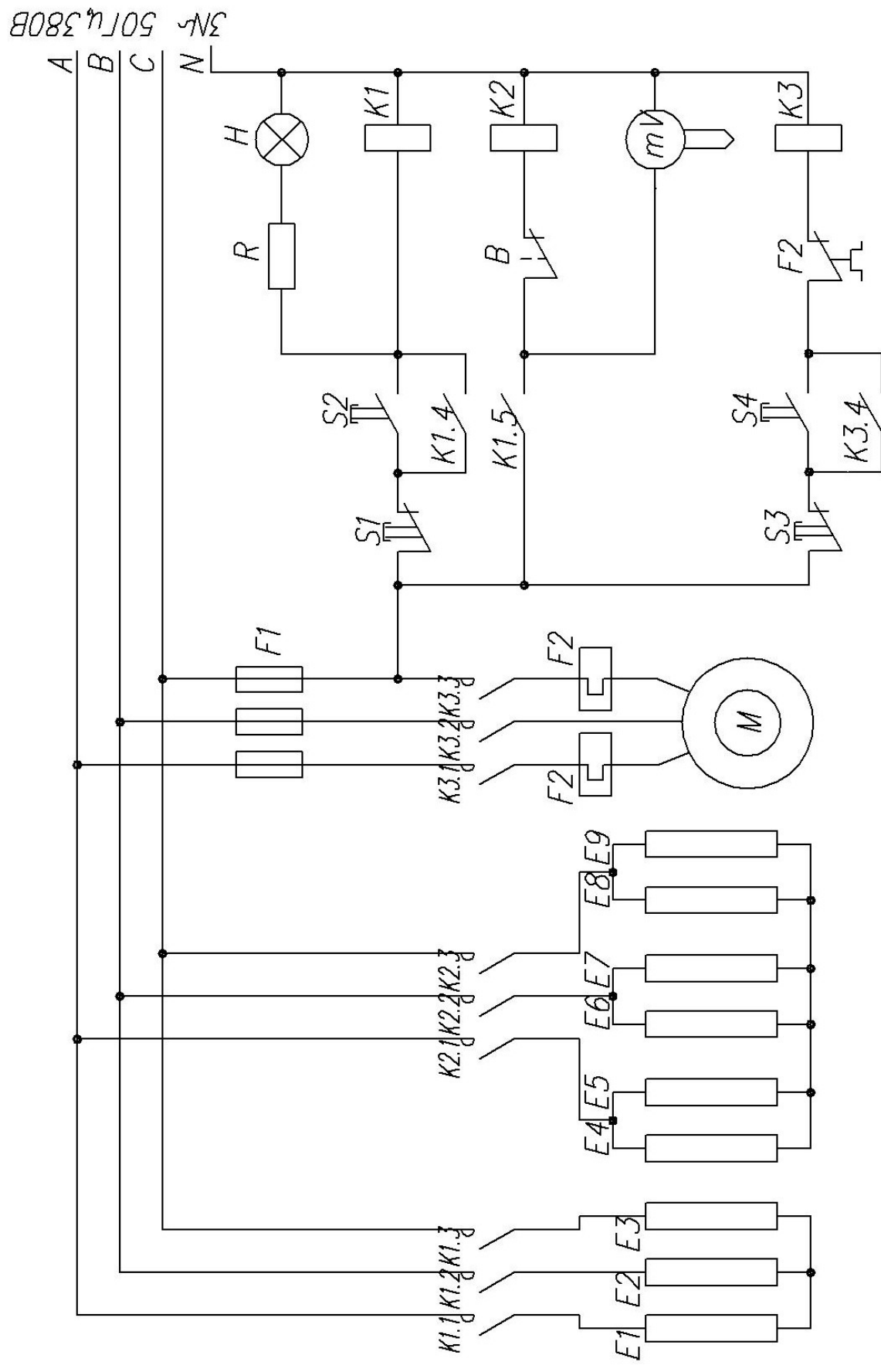


Рисунок 16.5 – Электрична схема жаровні типу ЖВЭ-720

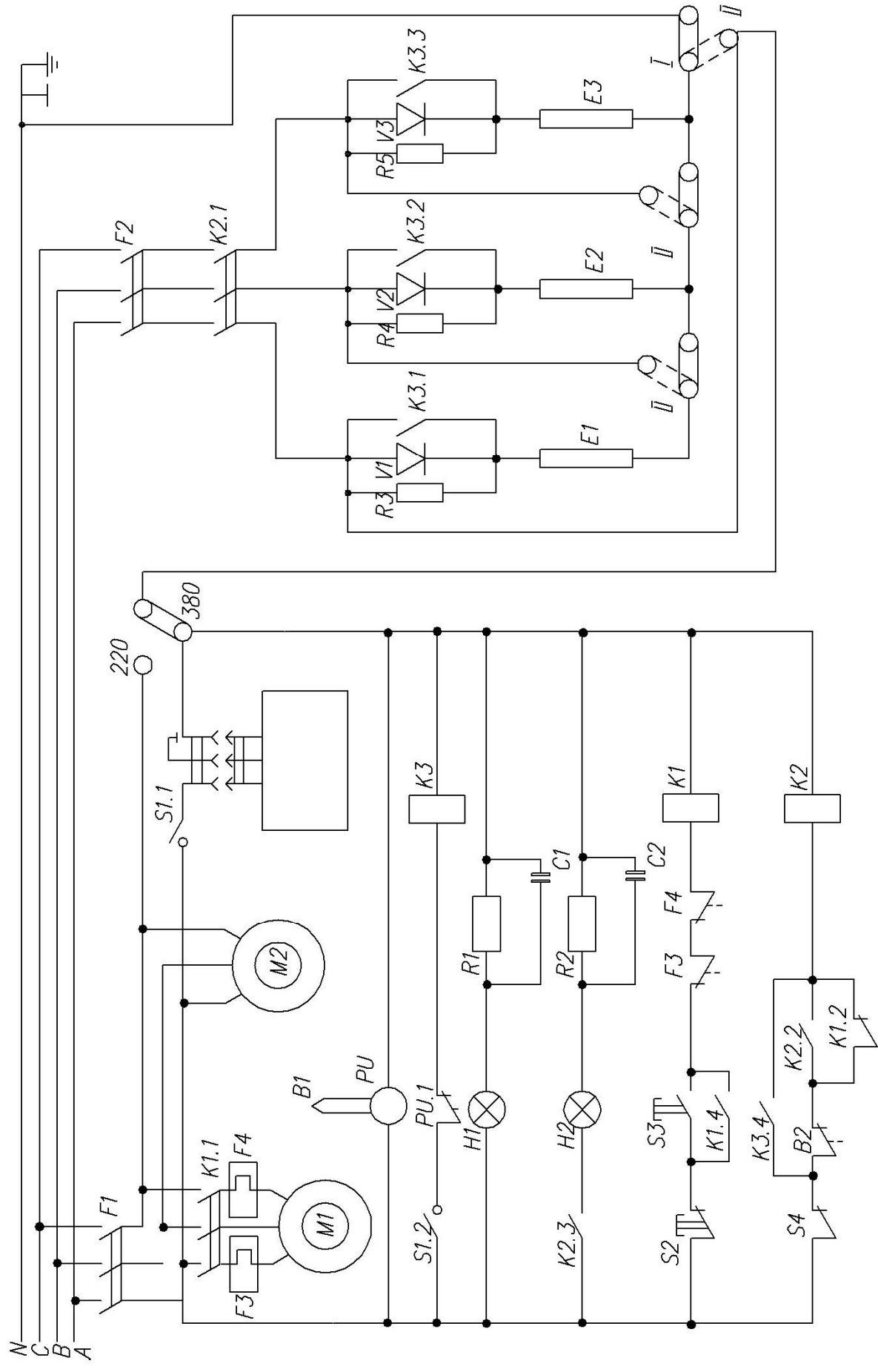


Рисунок 16.6 – Електрична схема автомата АП-3М для приготування і жарення

16.4. Автоматизація процесів миття посуду

Посудомийна машина ММУ-500 періодичної дії, виконує такі операції: струйне очищення, миття мийним розчином, первинне й остаточне ополіскування. Усі технологічні операції відбуваються послідовно в одній камері. Черговість і тривалість операцій задаються програмним реле часу.

Підключення машини до мережі здійснюється автоматичним вимикачем *F1* (рис. 16.7) і супроводжується запалюванням зеленої сигнальної лампи *H1*. За наявності води у водонагрівачі тумблер *S5* встановлюється в положення «Вкл», унаслідок чого вмикаються магнітні пускачі *K1*, *K2*, і починається нагрівання води.

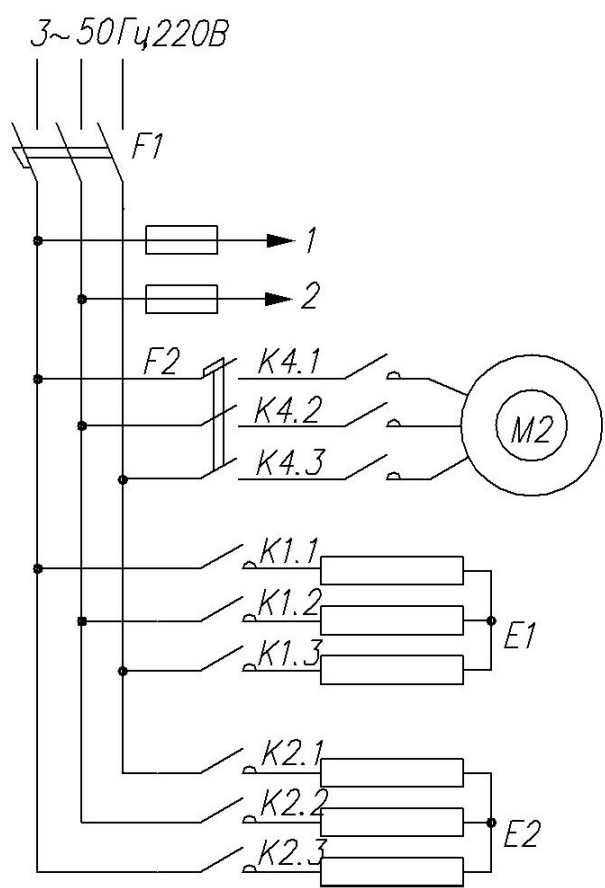
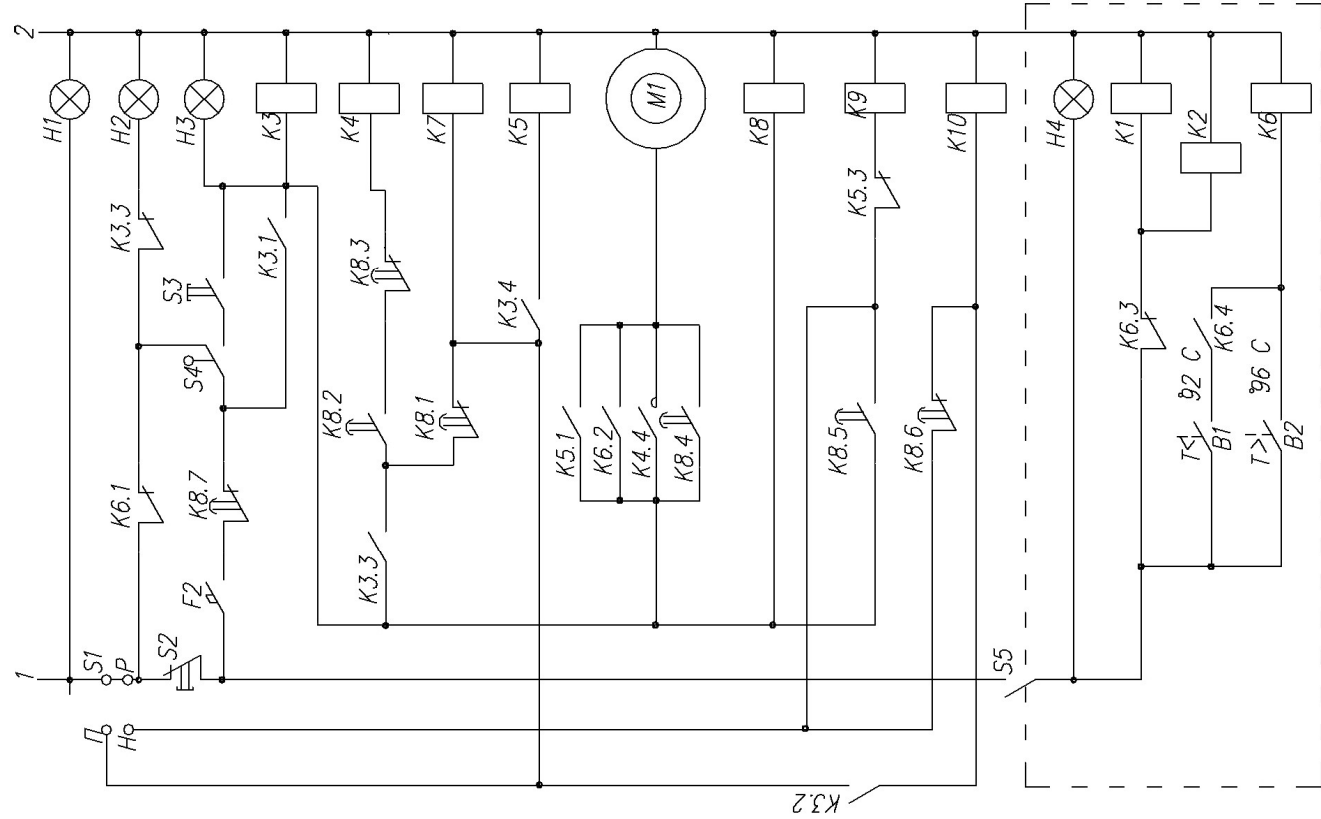
З нагріванням води до температури 96° С контакт термосигналізатора *B1* замикається і вмикає реле *K6*, що своїм розмикаючим контактом *K6.3* вимикає котушки пускачів *K1* і *K2*; підігрівання води припиняється.

Потім перемикач режимів роботи *S1* встановлюється в положення «Н» (наповнення), унаслідок чого вмикаються соленоїдні клапани холодної *K10* і гарячої *K9* води. Після заповнення ванни гарячою і холодною водою перемикач *S1* встановлюють у положення «Р» (робота). Проте у зв'язку з відбиранням із водонагрівача гарячої води необхідний деякий час для того, щоб воду, яка знову надійшла, нагріти до температури 96° С. Поки температура води у водонагрівачі нижче за 96° С, на панелі управління буде горіти червона сигнальна лампа *H2*. Як тільки температура води досягає 96° С, спрацьовує реле *K6*, і замикається контакт *K6.2* в колі електродвигуна програмного механізму *M1*. Одночасно контакт *K6.1* розімкнеться, і червона лампа *H2* погасне.

За наявності в дозаторі мийного засобу мікроперемикач *S4* замикається і машина готова до роботи. Потім натискається кнопка *S3*, унаслідок чого вмикається магнітний пускач *K3*, і загоряється жовта лампа робочого циклу *H3*. Пускач *K3* своїми замикаючими контактами *K3.2* і *K3.4* вмикає соленоїдний клапан подання мийного засобу *K7* і реле *K5*. Реле *K5* своїми контактами *K5.1* і *K5.2* вмикає соленоїдний клапан холодної води *K10* і двигун програмного механізму *M1*. Починається операція вилучення дрібних залишків їжі холодною водою.

Через 10 с нормально закритий контакт програмного механізму *K8.1* розмикається, вимикаються соленоїдний клапан подання мийного засобу *K7*, реле *K5*, а відповідно і соленоїдний клапан *K10*. Одночасно нормально відкритий контакт *K8.2* замикається і вмикає магнітний пускач управління роботою насоса *K4*. Магнітний пускач *K4* своїми контактами вмикає двигун приводу насоса *M2*. Одночасно замикається нормально відкритий контакт *K4.4* в колі електродвигуна приводу програмного механізму *M1*. Починається операція миття посуду мийним розчином, яка триває 70 с.

Через 85 с з моменту початку циклу, включаючи паузу в 5 с для стікання води з мийних душів, замикаються нормально відкриті контакти *K8.4* і *K8.5* програмних механізмів. У результаті вмикаються соленоїдні клапани ополіскування *K9* і *K10* (процес ополіскування триває 10 с).



Циклограма роботи посудомийної машини

Операция	№ контактного элемента	Загальний час циклу – 105 с				
		Час за операціями				
Дозування мийного засобу і змивання залишків їжі	K8.1	0	10	80	85	105
Миття мийним розчином	K8.1, K8.3			70 с		
Подача гарячої води для ополіскування	K8.4, K8.5				20 с	
Подача холодної води для ополіскування	K8.6				10 с	
Робота машини	K8.7			105 с		

Рисунок 16.7 – Електрична схема посудомийної машини MMU-500

Через 95 с після початку циклу нормально закритий контакт *K8.6* програмного механізму розмикається і вимикає соленоїдний клапан холодної води *K10*, а соленоїдний клапан гарячої води *K9* залишається увімкненим.

Через 105 с після початку циклу нормально закритий контакт *K8.7* програмного механізму розмикається і вимикає магнітний пускач робочого циклу *K3*. Контакт *K3.1* розмикається, і двигун програмного механізму вимикається. Жовта лампа *H3*, що сигналізує про роботу машини, гасне. Для екстреного вимкнення машини передбачена кнопка *S2*.

Розділ 17. Автоматизовані системи управління технологічними процесами

17.1. Функціональні структури АСУ ТП

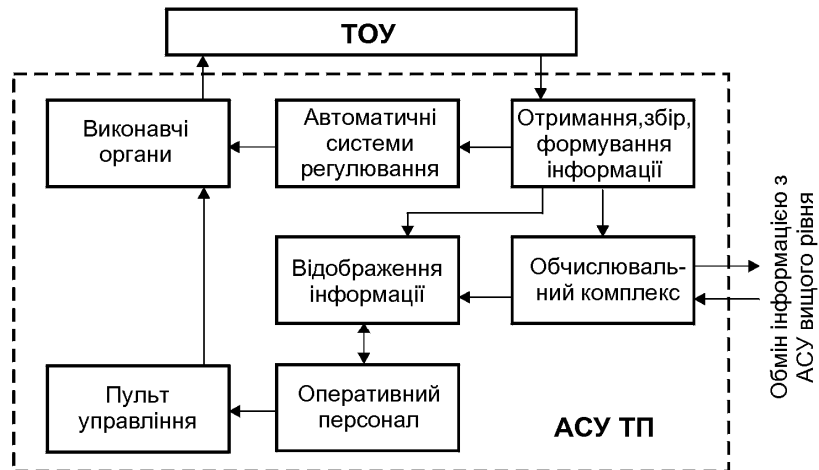
Загальні відомості відносно призначення АСУ ТП наведено у підрозділі 2.2. Забезпечення оптимального режиму функціонування АСУ ТП можливе за рахунок виконання великої кількості функцій. Під час роботи АСУ ТП виконує основні та допоміжні інформаційні та управляючі функції. *Основні функції* АСУ ТП спрямовані на досягнення ефективного управління ТОУ, а *допоміжні* – на забезпечення необхідної якості функціонування технічних засобів системи. *Інформаційними функціями* АСУ ТП є контроль, вимірювання та реєстрація основних параметрів процесу з викликання оператора, фіксації часу їх відхилення від допустимих значень, сигналізації про аварійні ситуації та ін. *Управляючі функції* АСУ ТП полягають у виробленні рішень і реалізації управляючих дій на об'єкт управління. До них належать такі: стабілізація змінних процесів; програмне управління, у тому числі запуск і зупинка окремих машин та апаратів; формування та реалізація оптимального управління за технологічним або техніко-економічним критерієм.

Розрізняють два режими реалізації функцій системи залежно від ступеня участі людини у виконанні цих функцій: автоматизований та автоматичний. В автоматизованому режимі людина бере участь у виробленні та прийманні рішень з управляючих дій. В автоматичному режимі всі інформаційні та управляючі функції виконуються без участі людини.

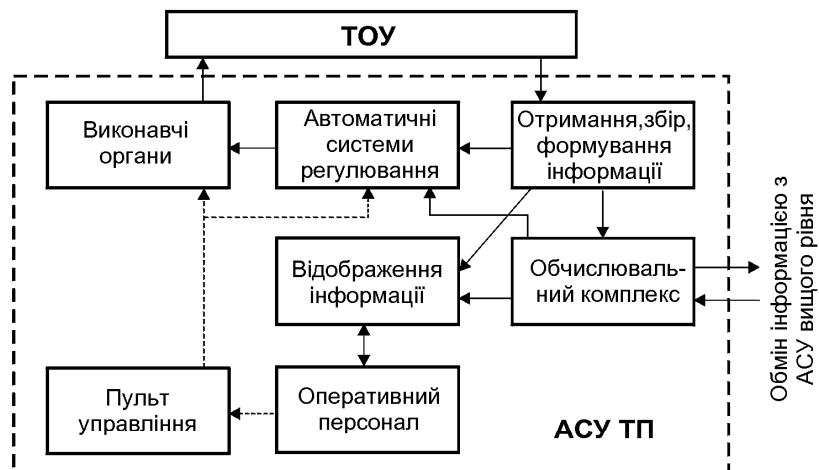
За способом реалізації основних інформаційних та управляючих функцій можна виділити три основні різновиди АСУ ТП з обчислювальним комплексом (ОК), який виконує такі функції: інформаційні, центрального управляючого пристрою (системи супервізорного управління) та безпосереднього цифрового управління (БЦУ).

В інформаційних АСУ ТП (рис. 17.1, *а*) інформація від блока отримання, збирання та формування інформації, яка характеризує поточний стан технологічного об'єкта управління (ТОУ), надходить до ОК. ОК аналізує отриману інформацію, розробляє рекомендації (поради) з управління та пошуку оптимальних рішень, а прийняття рішень та реалізація управляючих дій

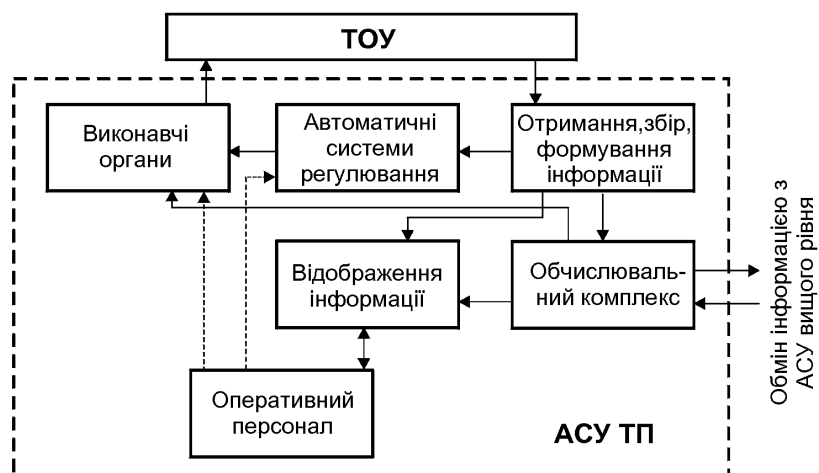
виконується оперативним персоналом. Такі системи утворюють клас систем, які працюють у режимі «радника».



а



б



в

Рисунок 17.1 – Функціональні структури АСУ ТП:
а – ОК виконує інформаційні функції; б – ОК виконує функції супервізорного управління; в – ОК виконує функції безпосереднього цифрового управління

В АСУ ТП, що виконує функції супервізорного управління (рис. 17.1, б), ОК включається в замкнений контур автоматичного управління. ОК аналізує роботу ТОУ та діє на регулятори локальних АСР шляхом зміни параметрів налаштування поблизу оптимальних значень процесу. Оперативний персонал стежить за роботою системи та втручається в процес управління в аварійних ситуаціях. В АСУ ТП безпосереднього цифрового управління (рис. 17.1, в) обчислювальний комплекс формує дію безпосередньо на виконавчі механізми, а регулятори зовсім виключаються з системи управління. Система управління значно спрощується. Кількість контурів може досягати кількох сотень і визначається потужністю ОК. У структурі безпосереднього цифрового управління АСР зберігаються як резервні, на випадок виходу з ладу ОК. Оперативний персонал контролює роботу системи й активно діє лише в аварійних ситуаціях.

17.2. Види забезпечення АСУ ТП

Розв'язання завдань управління ТОУ в повному обсязі можливе за умови взаємодії окремих складових частин АСУ ТП, що включають оперативний персонал та інформаційне, технічне, організаційне й програмне забезпечення.

Інформаційне забезпечення складається із сукупності інформації, що переробляється, та принципів її організації в системі. Інформаційне забезпечення містить характеристики сигналів, які інформують про стан об'єкта управління; опис принципів класифікації та кодування інформації; опис масивів інформації; форми документів; нормативно-довідкову інформацію, яка використовується під час роботи системи. Таким чином, інформаційне забезпечення визначає способи та конкретні форми інформаційного відображення стану об'єкта управління як у вигляді окремих даних, так і у вигляді документів для надання їх операторам (технологам).

Інформація, яка використовується в АСУ ТП, вводиться, в основному, за допомогою технічних засобів: датчиків, перетворювачів та ін. Частина інформації вводиться операторами за даними лабораторних аналізів чи в результаті попередніх розрахунків. Вихідна інформація системи виводиться переважно за допомогою дисплея на мнемосхеми або екрани відеотерміналів (алфавітно-цифрові або графічні).

Технічне забезпечення являє собою сукупність необхідних технічних засобів для функціонування АСУ ТП. До його складу входять комплекси технічних засобів, канали зв'язку між ними, а також конструкторська та експлуатаційна документація. Комплекс технічних засобів включає датчики, перетворювачі, виконавчі механізми, допоміжні пристрої, ЕОМ, засоби відображення інформації, передачі та обробки сигналів та ін.

Організаційне забезпечення включає описання функціональної, технічної та організаційної структур системи та інструкції оперативному персоналу, необхідні для виконання його функцій у складі автоматизованих технологічних комплексів.

Організаційну структуру на харчових виробництвах складають спеціальні підрозділи – служба автоматизації та метрології, інформаційно-обчислювальний центр та допоміжні підрозділи. Ця структура визначає і функції диспетчера-технолога, склад документації, якою він керується, його підпорядкування та звітність. До складу організаційного забезпечення входять інструкції з уведення оперативної інформації, у тому числі результатів хіміко-технологічного контролю; посадові інструкції для оперативного персоналу.

Програмне забезпечення – це сукупність програм, що повинна забезпечити ефективне функціонування засобів управляючої обчислювальної техніки та виконання завдань управління ТОУ. Програмне забезпечення (ПЗ) складається із загального програмного забезпечення (ЗПЗ) і спеціального програмного забезпечення (СПЗ).

Загальне програмне забезпечення (системне ПЗ, внутрішнє ПЗ) постачається в комплекті із засобами обчислювальної техніки і являє собою програми, що організують як обчислювальний процес у ЕОМ, так і роботу персоналу з обчислювальною технікою.

Спеціальне програмне забезпечення (зовнішнє ПЗ, ПЗ користувача) включає до свого складу програми реалізації основних інформаційних та управляючих функцій, необхідних для управління ТОУ. Хоча СПЗ є специфічним для кожного об'єкта, але в ньому існують програми розв'язання таких типових завдань, однакових для кожної АСУ ТП: опитування датчиків; первинна обробка інформації; реалізація управляючих дій на виконавчі механізми за стандартними законами регулювання. Ці програми нескладні, але їх багато через велику кількість датчиків та виконавчих механізмів у технологічному процесі. Щоб зменшити витрати на розробку таких програм, почали розробляти та широко застосовувати спеціальні управляючі пристрої – мікропроцесорні контролери (див. п. 8.4). У ПЗ мікроконтролерів «вшито» найпоширеніші з цих програм, тому мікроконтролери не потребують кваліфікованих програмістів для розробки. Необхідні програми викликаються із пам'яті контролера, а із блоків цих програм складається загальна програма управління ТОУ.

Мікроконтролери застосовуються на нижньому рівні АСУ ТП для управління апаратами або ланками технологічного процесу. Упровадження мікроконтролерів докорінно змінило підхід до розробки систем управління. Системи, що розробляються на контролерах, більш гнучкі, їх структура може відповідати практично будь-якій необхідній складності та змінюватись шляхом перепрограмування.

17.3. Центральні та розподілені АСУ ТП

В АСУ ТП із централізованою структурою управління всіма технологічними процесами здійснюється однією ЕОМ, що розташовується в центральному диспетчерському пункті (ЦДП) підприємства. Від датчиків, які вимірюють дійсні значення змінних процесу на кожній технологічній ланці

(ТЛ), через пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО) на центральну ЕОМ надходить уся необхідна інформація. У зворотному напрямку – від ЕОМ на відповідні локальні пункти управління (ЛПУ) кожної ТЛ передається інформація з управління у вигляді порад операторам, зміни завдань регуляторам локальних АСР або безпосередніх управляючих дій на виконавчі механізми, розташовані на технологічному обладнанні. Досвід упровадження та експлуатації централізованих АСУ ТП виявив такі їх основні недоліки:

- низьку живучість системи, бо з відмовою центральної ЕОМ весь технологічний процес стає практично некерованим;
- великі витрати кабельної продукції для забезпечення зв'язку всіх локальних засобів автоматизації з центральною ЕОМ;
- значні витрати часу на впровадження такої складної системи та неможливість поетапного введення системи;
- складності в організації управління ТОУ в реальному часі внаслідок значних відстаней ТЛ від ЦДЛ і великих витрат машинного часу на обробку великої кількості інформації.

Отже, на наступному етапі з'явилися багаторівневі розподілені АСУ ТП. На харчових підприємствах широко застосовується дворівнева ієрархічна структура таких систем. На верхньому рівні в центральному пункті управління (ЦПУ) знаходиться міні- або мікро-ЕОМ, що координує роботу всієї системи. На нижньому рівні ієрархії (на ЛПУ) розташовано управляючі обчислювальні пристрої, які управляють процесами в окремих апаратах, ланках, відділеннях.

Найбільш поширеною в промисловості є розподілена АСУ ТП із структурою типу «зірка», запроваджують також структуру типу «кільце» («петля») або «магістраль» (рис. 17.2).

В АСУ ТП у вигляді «зірки» кожен ЛПУ пов'язаний лише з ЦПУ, тому це найпростіша структура. Проте управляюча ЕОМ на ЦПУ повинна виконувати значні роботи по зв'язку з усіма ЛПУ, крім того, ускладнюється завдання маршрутизації інформації для зв'язку між ЛПУ. У разі відмови центральної ЕОМ цей зв'язок втрачається, і тоді система не забезпечує розв'язання завдань координації роботи окремих ланок виробництва.

Для розподілених АСУ ТП типу «кільце» потрібні спеціальні пристрої управління «кільцем» (УК). У таких системах відсутня проблема маршрутизації, бо існує єдиний шлях передавання інформації. Але відмова хоча б одного з УК призводить до втрати взаємозв'язку між окремими ЛПУ і ЦПУ.

В АСУ ТП із магістральною структурою всі пункти управління пов'язані один з одним загальним каналом передавання інформації. У системі може знаходитись спеціалізований пристрій управління магістраллю (УМ) або децентралізовані пристрої на кожному з ЛПУ. В останньому випадку живучість системи зростає, бо відмова одного з таких пристроїв не викликає відмови системи в цілому. Такі системи легко нарощуються, але при великих відстанях між окремими ЛПУ зростають труднощі в передаванні інформації.

Упровадження розподілених систем усуває майже всі перераховані вище недоліки централізованих.

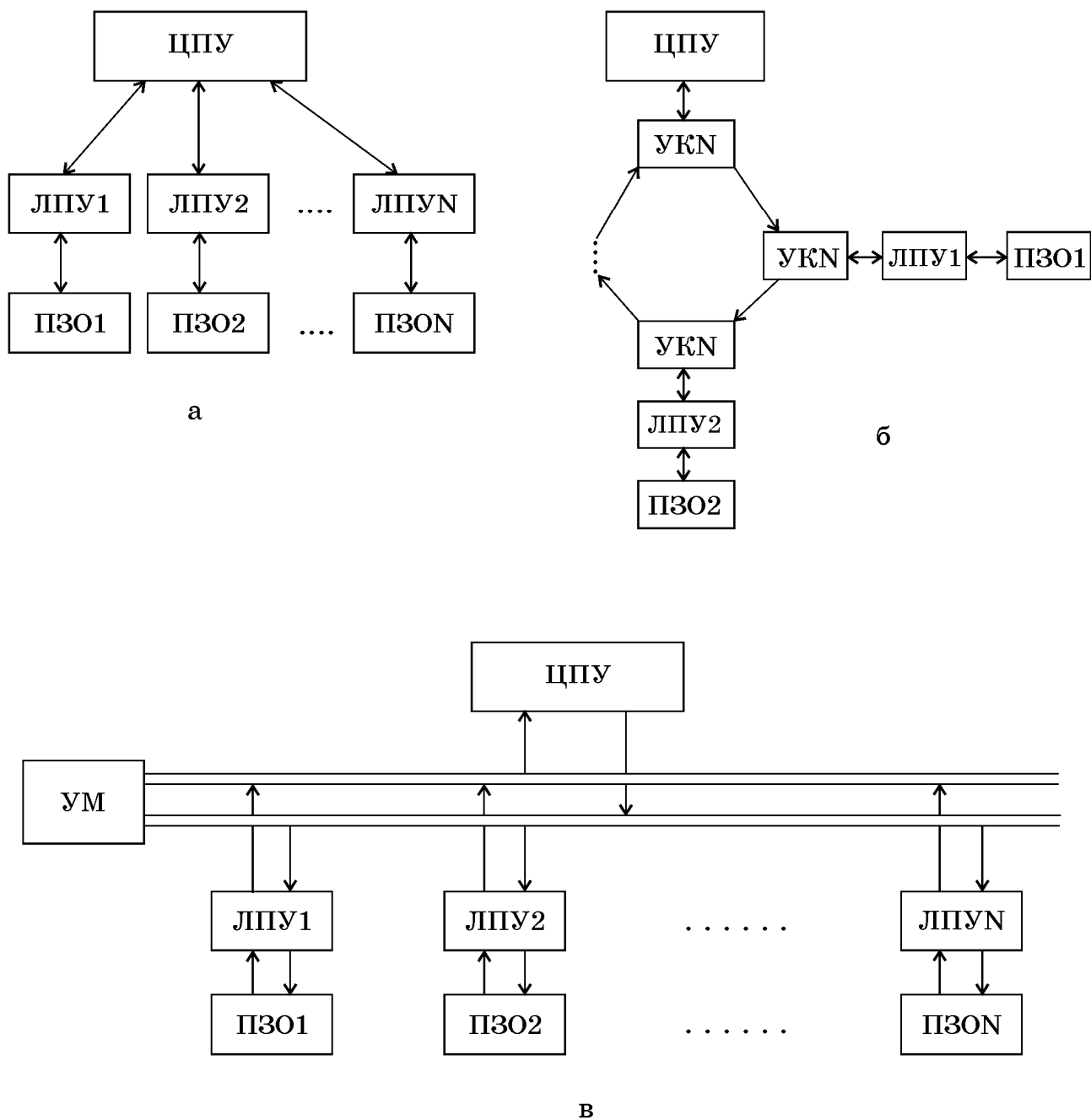


Рисунок 17.2 – Структура розподілених АСУ ТП типу:
а – «зірка»; б – «кільце»; в – «магістраль»

У розподіленій системі кожною ТЛ управляв окремий ЛПУ, розташований безпосередньо біля технологічного обладнання, а на ЦПУ передається лише найважливіша інформація, тому значно скорочуються витрати кабельної продукції на зв'язок між ЛПУ і ЦПУ. У разі відмови ЦПУ кожен із ЛПУ продовжує управління відповідною ТЛ, а з відмовою ЛПУ решта ТЛ лишаються управляючими, що суттєво підвищує живучість такої системи. З іншого боку, запровадження розподілених АСУ ТП потребує більших витрат на

розробку програм, які повинні забезпечити обмін інформацією в системі складної структури.

17.4. Автоматизовані робочі місця технолога-оператора

Розроблення і впровадження систем автоматизації технологічних процесів на базі мікропроцесорної техніки дозволили перейти до створення принципово нових систем відображення інформації та реалізації управляючих дій оператора – так званих автоматизованих робочих місць (АРМ) оператора-технолога. Системи автоматизації, побудовані на основі стандартних аналогових регуляторів та централізованих АСУ ТП, передбачають розміщення спеціальних щитів автоматизації на локальних пунктах управління. На цих щитах розміщуються численні вторинні вимірювальні прилади, органи ручного дистанційного управління (ключі, кнопки, панелі дистанційного управління) та ін. Причому відображення інформації відбувається в незмінних формах (показ, запис, сигналізація).

АРМ оператора-технолога являє собою програмно-технічний комплекс, що складається з кількох (до 16) мікропроцесорних контролерів, з'єднаних з однією або кількома ПЕОМ, та відповідного програмного забезпечення процесів обміну та відображення інформації.

Мікроконтролери підключаються до ПЕОМ за допомогою спеціального пристрою – мультиплексора (комутатора), який послідовно з'єднує канали передачі інформації між відповідним контролером та комп'ютером (рис. 17.3).

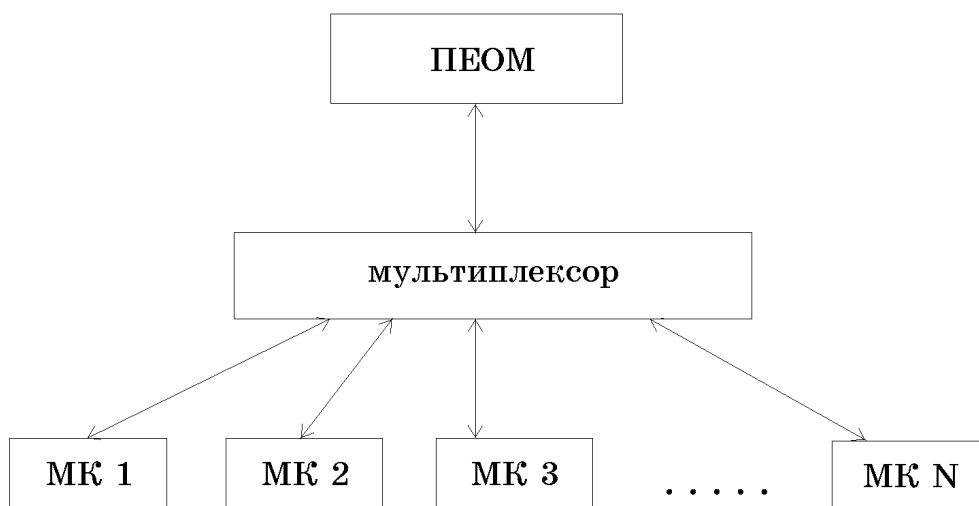


Рисунок 17.3 – Структурна схема АРМ

Комплекс програм АРМ дозволяє реалізувати такі функції:

- збирання та зберігання інформації;
- відображення інформації про стан технологічного процесу;
- сигналізація про порушення норм технологічного режиму;
- реєстрація та документування передаварійних та аварійних ситуацій;

– оперативне управління технологічними процесами з клавіатури ПЕОМ.

Збирання та зберігання інформації про перебіг технологічного процесу організується таким чином, щоб захистити її від несанкціонованого доступу. Тобто ніхто не може за своїм бажанням змінити або скорегувати інформацію, яка надійшла в ПЕОМ. У разі необхідності інформація може накопичуватись і зберігатись у пам'яті ПЕОМ протягом заданого терміну, наприклад протягом місяця. Після закінчення цього терміну стара інформація вилучається з пам'яті ПЕОМ автоматично, а на її місце записується нова.

Візуальний контроль за станом технологічного процесу здійснюється за допомогою відеокadrів на екрані дисплея ПЕОМ у вигляді мнемосхем, графіків, гістограм, відхилень параметрів та ін. Форму відображення інформації в конкретній ситуації обирає за своїм бажанням оператор-технолог. За допомогою кольорової мнемосхеми оператор має можливість спостерігати за зміною технологічних параметрів, значення яких виводиться у відповідних місцях технологічної схеми.

У разі виникнення передаварійної або аварійної ситуації вмикається звуковий сигнал, щоб повинен привернути увагу оператора, а також змінюється режим індикації параметра. Так, може змінитися колір відображення параметра на мнемосхемі або він почне мигати.

У разі необхідності оператор має можливість втручатися в управління технологічним процесом, змінюючи за допомогою клавіатури ПЕОМ завдання регуляторам окремих параметрів, або вручну управляти виконавчими механізмами. Якщо виникає потреба проаналізувати зміну окремих технологічних параметрів за певний час, оператор може скористатись режимом, коли на екран дисплея виводяться відповідні графіки.

У разі потреби інформація, яка накопичується в пам'яті ПЕОМ, може бути оброблена за відповідним алгоритмом та роздрукована у вигляді таблиць, рапортів, звітів та ін. на принтері ПЕОМ за формою, узгодженою з користувачами програмно-технічного комплексу.

Робота з АРМ не потребує від оператора спеціальних знань із програмування. Програмне забезпечення функціонує в діалоговому режимі з використанням «підказок» оператору, які допомагають йому орієнтуватись у ситуації, яка виникла.

Програмне забезпечення АРМ складається з двох частин: загального характеру, яке постачається в готовому вигляді розробником цього пакета програм, і спеціального, яке виконується для кожного конкретного технологічного об'єкта за завданням замовника.

Використання АРМ технолога-оператора дозволяє значно змінити функції, які він має виконувати: з одного боку, значно полегшує умови праці, а з іншого – підвищує ефективність його роботи за рахунок того, що оператор має можливість завжди отримати об'єктивну, повну і своєчасну інформацію про стан та передісторію перебігу технологічного процесу й прийняти своєчасне та ефективне рішення з управління.

Контрольні запитання до частини IV

1. Назвіть склад проектної документації для проектування систем автоматизації.
2. Поясніть, який порядок розташування літерних позначень функціональних ознак приладу існує в схемах автоматизації.
3. Як підтримується необхідна вологість пароповітряної суміші в камері для термічної обробки ковбасних виробів?
4. Як відбувається автоматичне блокування перевищення температури суміші газів у топці в системі автоматизації пічного агрегату РЗ-ХПА для випікання хліба?
5. За допомогою яких засобів автоматизації підтримується постійний рівень молока в приймальному баці та продуктивність пастеризаційно-охолоджувальної установки для теплової обробки молока?
6. Як забезпечується послідовність операцій під час виробництва сирного зерна в сирних ваннах?
7. Які функції виконує система автоматизації стерилізації консервів у автоклаві?
8. Який прилад контролює закінчення процесу концентрування пастоподібних продуктів у вакуум-випарних апаратах?
9. Який закон регулювання застосовується під час автоматизації процесу жарення?
10. Назвіть інформаційні функції АСУ ТП.
11. Які існують види забезпечення функціонування АСУ ТП?
12. Які недоліки мають централізовані АСУ ТП?
13. Назвіть шляхи розвитку АСУ ТП.
14. Поясніть функції технолога-оператора АРМ.

Список рекомендованої літератури

1. Автоматика и автоматизация пищевых производств / [М. М. Благовещенская, Н. О. Воронина, А. В. Казаков и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 239 с.
2. Ельперін І. В. Мікропроцесорні пристрої і системи управління в харчовій промисловості / І. В. Ельперін, Є. Л. Календро, А. П. Ладанюк. – К. : ІСДО, 1994. – 140 с.
3. Кирпичников В. П. Справочник механика (общественное питание) / В. П. Кирпичников, Г. Х. Леенсон. – М. : Экономика, 1990. – 382 с.
4. Мамсуров А. Х. Автоматика и автоматизация производственных процессов в общественном питании / А. Х. Мамсуров, Л. В. Киптелая. – М. : Экономика, 1986. – 271 с.
5. Митин В. В. Автоматика и автоматизация производственных процессов мясной и молочной промышленности / В. В. Митин, В. И. Усков, Н. Н. Смирнов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 240 с.
6. Петров И. К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности / И. К. Петров. – М. : Агропромиздат, 1985. – 344 с.
7. Платонов П. Н. Автоматика и автоматизация консервного производства / П. Н. Платонов, А. И. Павлов, Л. М. Сычук. – К. : Вища школа, 1981. – 264 с.
8. Тошинский В. І. Технічні засоби автоматизації / В. І. Тошинский, А. К. Бабіченко, П. І. Беляк, М. О. Подустов. – К. : ІСДО, 1995. – 104 с.
9. Фурман І. О. Мікропроцесорні пристрої програмного керування / І. О. Фурман, В. О. Романов, І. В. Чалий; М-во освіти України. – К., 2000. – 88 с.

ЗМІСТ

Частина I. Загальні відомості про автоматику та автоматизацію технологічних процесів	3
Розділ 1. Основні поняття та визначення з автоматики та автоматизації	3
1.1. Поняття про автоматичне управління	3
1.2. Значення автоматизації для підвищення ефективності технологічних процесів харчових виробництв	3
Розділ 2. Системи управління технологічними процесами	4
2.1. Локальні системи автоматизації	4
2.2. Автоматизовані системи управління технологічними процесами	5
2.3. Сучасні системи управління виробництвом	6
2.4. Державна система приладів та засобів автоматизації	10
Частина II Технічні засоби автоматизації	12
Розділ 3. Характеристики вимірювальних приладів	12
3.1. Методи вимірювань	12
3.2. Засоби вимірювань	12
3.3. Похибки вимірювальних приладів	13
Розділ 4. Вимірювання температури	14
4.1. Термометри розширення	15
4.2. Манометричні термометри	17
4.3. Термометри опору	20
4.4. Термоелектричні термометри	23
4.5. Прилади для безконтактного визначення температури «Пірометри»	26
Розділ 5. Вимірювання тиску	29
5.1. Рідинні манометри	29
5.2. Деформаційні манометри	30
5.3. Електричні манометри	32
Розділ 6. Вимірювання рівня, витрати та кількості речовини	33
6.1. Вимірювання рівня	33
6.2. Вимірювання витрати та кількості речовин	36
Розділ 7. Контроль фізичних властивостей та складу речовини	48
7.1. Вимірювання густини рідин	48
7.2. Вимірювання концентрації складу рідини	50
7.3. Вимірювання в'язкості рідин	54
7.4. Вимірювання вологості	56

Розділ 8. Управляючі та регулюючі пристрої	
автоматичних систем регулювання та управління	57
8.1. Функціональні елементи автоматичних регуляторів	57
8.2. Агрегатні комплекси технічних засобів автоматизації	61
8.3. Виконавчі механізми та регулюючі органи	62
8.4. Мікропроцесорні засоби автоматизації	64
8.5. Мікропроцесорний регулятор «МІКРОЛ»	67
8.6. Багатоканальний реєстратор РМТ 59	69
Частина III. Автоматичні системи регулювання	71
Розділ 9. Основні поняття та визначення	71
9.1. Принципи регулювання	71
9.2. Функціональна структура замкненої АСР	72
Розділ 10. Об'єкти регулювання	73
10.1. Властивості об'єктів регулювання	73
10.2. Динамічні характеристики об'єктів регулювання	75
Розділ 11. Типові динамічні ланки автоматичних систем	80
11.1. Подання елементів ланками	80
11.2. Ланки лінійних автоматичних систем регулювання	81
11.3. З'єднання ланок та алгоритмічні структурні схеми автоматичних систем	87
Розділ 12. Характеристика автоматичних систем	89
12.1. Класифікація АСР	89
12.2. Сталий режим	90
12.3. Перехідний процес в АСР	93
Розділ 13. Автоматичні регулятори	97
13.1. Структура автоматичного регулятора	97
13.2. Позиційні регулятори	97
13.3. Регулятори безперервної дії	99
13.4. Розробка автоматичних систем регулювання	103
Частина IV. Автоматизація технологічних процесів	105
Розділ 14. Проектування систем автоматизації технологічних процесів	105
14.1. Етапи проектування та склад проектної документації	105
14.2. Системи автоматизації технологічних процесів	106
14.3. Принципові електричні схеми	113
Розділ 15. Системи автоматизації технологічних процесів харчових виробництв	114
15.1. Автоматизація типових об'єктів харчових виробництв	114

15.2. Автоматизація готування ковбасного фаршу.....	118
15.3. Автоматизація термічної обробки ковбас	119
15.4. Автоматизація розморожування м'яса	123
15.5. Автоматизація теплової обробки молока в пастеризаційно-охолоджувальній установці.....	125
15.6. Автоматизація трубчастої пастеризаційної установки	127
15.7. Автоматизація виробництва сирного зерна в сирних ваннах	129
15.8. Автоматизація виробництва вершкового масла.....	131
15.9. Автоматизація випікання хліба	133
15.10. Автоматизація приготування зтяжного печива	135
15.11. Автоматизація холодильної машини з поршнеvim компресором	138
15.12. Автоматизація управління холодильними машинами	141
15.13. Автоматизація централізованого холодопостачання.....	143
15.14. Автоматизація кондиціювання повітря	145
15.15. Автоматизація стерилізації консервів у автоклавах	149
15.16. Автоматизація процесу випарювання.....	151
15.17. Автоматизація процесу ректифікації.....	153
15.18. Автоматизація процесу конвективного сушіння	154
15.19. Автоматизація процесів концентрування	158
Розділ 16. Автоматизація устаткування підприємств харчування	160
16.1. Технологічні процеси підприємств харчування як об'єкти автоматизації	160
16.2. Автоматизація процесів варіння	160
16.3. Автоматизація процесів жаріння	163
16.4. Автоматизація процесів миття посуду	172
Розділ 17. Автоматизовані системи управління технологічними Процесами	174
17.1. Функціональні структури АСУТП	174
17.2. Види забезпечень АСУ ТП.....	176
17.3. Центральні та розподілені АСУТП.....	177
17.4. Автоматизовані робочі місця технолога-оператора	180
Список рекомендованої літератури	183

Навчальне видання

ЧЕРЕВКО Олександр Іванович
КІПТЕЛА Людмила Василівна
МИХАЙЛОВ Валерій Михайлович
ЗАГОРУЛЬКО Олексій Євгенович

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Підручник

Редактор Л.Ю. Кротченко

Підп. до друку .2014 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. Друк офс.
Умов. др. арк. 9,3. Тираж 300 прим. Зам. № 5

Видавець та виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі.

вул. Клочківська, 333, Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК №4417 від 10.10.2012 р.

