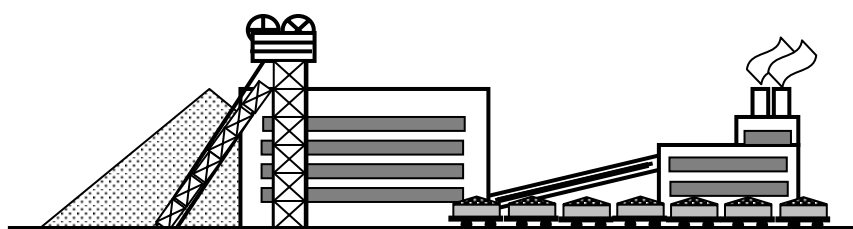


ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДОНЕЦЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ НАУКОВОГО ТОВАРИСТВА ім. ШЕВЧЕНКА

Папушин Ю.Л., Білецький В.С.

ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА (курс лекцій)

*Затверджено на засіданні навчально-видавничої ради
Донецького національного технічного університету
(протокол № 7 від 20.06.2007)*



Донецьк
Східний видавничий дім
2007

ББК 33.4
К 59
УДК 622.7.09 (075.8)

Папушин Ю.Л., Білецький В.С.

К 59 Основи автоматизації гірничого виробництва. –
Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.

ISBN 978-966-317-004-6

У посібнику подано матеріал до лекцій з дисципліни «Основи автоматизації гірничого виробництва», яка входить до переліку нормативних дисциплін спеціальності 7.090302 «Збагачення корисних копалин». Викладено елементи теорії і практики автоматизації процесів збагачення мінеральної сировини. Наведено приклади систем контролю і схем автоматизації основних процесів збагачення корисних копалин.

Видання призначене для студентів вузів, що навчаються за спеціальністю «Збагачення корисних копалин», та інженерно-технічних працівників збагачувальних фабрик.

ББК 33.4

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Зорі А.А.
кандидат технічних наук, доц. Маренич К.М.

ISBN 978-966-317-004-6

© Папушин Ю.Л.,
Білецький В.С., 2007
© Макет, “Східний
видавничий дім”, 2007

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Основні поняття автоматики. Термінологія	7
2. Класифікація систем і принципи автоматичного регулювання	19
3. Методи математичного опису властивостей елементів автоматики і типові ланки систем	26
4. Об'єкти автоматичного регулювання	40
4.1. Загальні відомості	40
4.2. Класифікація і динамічні характеристики об'єктів регулювання	42
5. Автоматичні регулятори і перехідні процеси	49
5.1. Класифікація регуляторів. Закони регулювання	49
5.2. Формування законів регулювання	56
5.3. Якість регулювання. вибір закону регулювання	58
6. Розрахунок параметрів регулятора. Стійкість систем	68
7. Системи автоматичного контролю технологічних параметрів	74
7.1. Загальна характеристика систем контролю. Датчики і перетворювачі	74
7.2. Автоматичний контроль рівнів і витрат продуктів	87
7.3. Контроль властивостей суспензій і складу рідких та твердих середовищ	95
8. Загальнопромислові технічні засоби автоматизації	109
8.1. Вторинні вимірювальні прилади	109
8.2. Промислові керуючі пристрої	114
8.3. Виконавчі механізми і регулюючі органи	118

9. Принципи розробки схем автоматизації технологічних процесів	122
10. Розробка схем автоматизації флото-фільтрувального відділення	132
10.1. Схема автоматизації вугільної флотації	132
10.2. Схема автоматизації процесу зневоднення на вакуум-фільтрі	136
11. Розробка схем автоматизації гравітаційних процесів збагачення	141
11.1. Схема автоматизації відсаджувальної машини	141
11.2. Схема автоматизації процесу збагачення у важких середовищах	144
12. Розробка схем автоматизації сушильних установок	148
12.1. Особливості сушильних установок як об'єктів управління	148
12.2. Схема автоматизації топки з ланцюговими ґратами	150
12.3. Схема автоматизації барабанної сушильної установки	151
12.4. Схема автоматизації труби-сушарки	153
13. Розробка схеми автоматизації процесу згущення	155
14. Особливості автоматизації процесів збагачення руд	158
Література	167

ВСТУП

Під автоматизацією розуміють комплекс організаційних і технічних заходів, що забезпечують звільнення людини від безпосереднього виконання функцій керування виробничими процесами з передачею цих функцій автоматичним пристроям, до складу яких входять системи автоматичного контролю, регулювання, керування, сигналізації і захисту агрегатів і технологічних установок.

Сучасний стан автоматизації характеризується різним ступенем оснащеності виробництва автоматичними системами. Однак переважаючою тенденцією, особливо при спорудженні сучасних великих об'єктів, є впровадження комплексної автоматизації, що передбачає автоматизацію усього технологічного процесу і створення єдиної узгоджено діючої системи керування.

Це особливо важливо для розгалужених безперервних технологій, до яких належать збагачувальні процеси.

Автоматизація технологічних процесів на збагачувальних фабриках покликана сприяти зростанню ефективності виробництва, включаючи підвищення продуктивності праці робітників і службовців, поліпшення соціальних умов праці, підвищення продуктивності обладнання, економію електроенергії і матеріалів, забезпечення необхідної якості товарних концентратів, мінімізацію втрат цінних мінералів у відходах збагачення (хвостах), комплексне і безвідходне використання мінеральної сировини, поліпшення екологічної ситуації в районі розташування збагачувальної фабрики.

Резерви підвищення ефективності виробництва за рахунок автоматизації можуть бути практично реалізовані за умови активного об'єднання зусиль інженерів-технологів (збагачувальників) і фахівців з автоматизації. Рівень автоматизації процесів на сучасних збагачувальних фабриках

зростає. По суті без систем автоматичного керування сьогодні важко уявити ефективну реалізацію як окремих технологічних процесів збагачення, так і всього виробництва в цілому. Тому студенти-технологи повинні серйозно вивчати способи автоматичного керування, принципи побудови і технічні засоби систем автоматизації.

Автоматизація на збагачувальних фабриках, як і на інших виробництвах, розвивається від створення локальних систем автоматичного регулювання (САР) окремих операцій збагачувальної технології до створення автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами (АСКТП) і збагачувальною фабрикою загалом, зокрема створення систем організаційного керування (АСОК), до яких входять автоматизовані системи керування підприємством (АСКП), галузеві автоматизовані системи керування (ГАСК) і спеціалізовані автоматизовані системи керування функціональних органів управління господарством. До останніх належать автоматизовані системи планових розрахунків (АСПР), керування матеріально-технічним постачанням (АСКМТП) та інші.

Сьогодні набувають поширення складні датчики елементного і фазового складу твердої і рідкої фаз перероблюваної на фабриці мінеральної сировини і одержуваних продуктів. Це дозволяє за допомогою сучасної обчислювальної техніки забезпечити збір, передачу, обробку і архівування різноманітної інформації на збагачувальній фабриці і створити корпоративну мережу, що охоплює всі цехи і комплекси.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ АВТОМАТИКИ. ТЕРМІНОЛОГІЯ

Збагачувальні фабрики як об'єкти автоматизації. Задачі автоматичних систем контролю і автоматизації. Про термінологію і поняття автоматики. Локальні системи автоматичного регулювання і їх задачі. Об'єкти автоматичного регулювання. Структурні і функціональні схеми систем регулювання.

Автоматизація будь-яких виробничих процесів, у тому числі збагачувальних, характеризується особливостями, що залежать від специфіки технології.

Особливості автоматизації збагачувальних фабрик зумовлені:

- їх проміжним становищем у ланцюгу перетворення сировини, добутої в шахті або кар'єрі, у продукт, що задовольняє вимоги споживачів продуктів збагачення. Якщо в процесі збагачення кількісні і якісні показники сировини можуть змінюватися стохастично, то на виході фабрики якість продукту повинна бути стабільною;
- індивідуальним характером збагачення кожної конкретної сировини в залежності від мінералогічних і технологічних особливостей; у зв'язку з цим існує велика кількість різноманітних технологічних схем збагачення і систем автоматичного керування;
- зміною параметрів робочих органів внаслідок зносу через абразивність сировини, що переробляється. Тому коефіцієнти математичних моделей технологічних процесів необхідно коректувати; вихід з ладу технологічного обладнання і, отже, зупинки процесу приводять до виникнення таких збурень, з якими автоматичні пристрої можуть не справитися;
- тим фактом, що ряд збагачувальних фабрик побудовано за схемами і укомплектовано обладнанням, не пристосованим до автоматизації, що утруднює і навіть іноді виключає можливість установки датчиків, регулюючих органів тощо;

- відсутністю надійно діючих датчиків безперервного контролю ряду показників, що характеризують властивості сировини і продуктів збагачення (гранулометричний склад, вміст компонентів, зольність вугільних продуктів і т.ін.).

Як об'єкт автоматизації збагачувальні фабрики характеризуються:

- безперервністю технологічного процесу;
- різноманітністю умов приміщень (сирі – подрібнення, відсадження, флотація, мокра магнітна сепарація і т.ін., запилені – дроблення, грохочення, перевантажувальні вузли, бункери і т.ін., з агресивним середовищем – реагентні відділення, дозувальні майданчики і т.ін., вибухонебезпечні пневмо-сепарація вугілля);
- високим енерго-, водо- і повітроспоживанням;
- широким діапазоном потужностей електроприводів механізмів;
- численними транспортними технологічними зв'язками і паралельно працюючими ідентичними технологічними ланцюгами, наявність рециклів, що вимагають установки великого числа ідентичних засобів автоматизації;
- складністю технологічних процесів збагачення, що утруднює отримання їх математичних моделей і обумовлює складність автоматичних систем керування;
- важкими умовами роботи технічних засобів автоматизації.

Ці особливості необхідно враховувати при проектуванні систем автоматизації збагачувальної фабрики.

Впровадження автоматичних систем контролю і керування на збагачувальних фабриках пов'язане з удосконаленням технологічного обладнання, яке повинно мати:

- високу продуктивність одиниці обладнання, що виключає необхідність паралельної роботи механізмів;
- високу надійність і довговічність, що знижує до мінімуму збурення, обумовлені перериванням технологічного процесу; можливість плавного дистанційного впливу на регулюючі органи машин;

- захисні прилади і пристрої, що запобігають попаданню технологічного сміття (тріски, ганчірки, скрап і т.ін.) в зону контролю технологічних параметрів процесу;
- спеціальні місця для установки датчиків, що дозволяють комплектувати його необхідними датчиками і контрольно-вимірювальними приладами.

При автоматизації технологічних процесів збагачувальних фабрик вирішується багато задач, серед яких:

1. Автоматичний контроль технологічних параметрів (продуктивність; густина і гранулометричний склад пульпи; об'ємні і масові витрати технологічних потоків, палива, повітря; циркуляційні навантаження; ступінь завантаження технологічних механізмів, речовинний склад руд і продуктів збагачення; йонний склад пульпи; вологість продуктів тощо).
2. Автоматичне керування технологічними процесами (стабілізація окремих технологічних параметрів; оптимізація роботи окремих технологічних агрегатів і технологічних процесів загалом).
3. Автоматичний контроль стану технологічного обладнання (температура підшипників технологічних механізмів; параметрів централізованого рідкого змащення підшипників; стан перевантажувальних вузлів і елементів потоково-транспортних систем; наявність матеріалу на стрічці конвеєра; присутність металевих предметів на стрічці конвеєра і їх видалення; робота насосів; рівні матеріалу і пульпи в ємкостях; тривалість роботи і простоїв технологічних механізмів тощо).

Ці задачі вирішуються різноманітними автоматичними системами контролю і керування, що можуть виконувати різні функції.

Сучасний етап розвитку автоматизації гірничо-збагачувального виробництва характеризується масовим впровадженням комп'ютерної техніки і побудовою систем автоматичного керування на її основі.

Фахівець-технолог зі збагачення корисних копалин сьогодні повинен мати чітке уявлення, як автоматичні системи контролю і регулювання технологією збагачення

отримують технічну інформацію, як її переробляють і як формують керувальні впливи.

Основні поняття автоматики і термінологія

Технології збагачення корисних копалин належать до складних і багатофакторних процесів, ефективне керування якими без застосування засобів автоматики проблематичне.

Технологічний процес, як і режими роботи машин, характеризується сукупністю фізичних або хімічних параметрів, що впливають на ефективність процесу. Протягом технологічного процесу ці параметри не повинні виходити за межі заданих значень, які визначаються режимною картою процесу.

Однак дані параметри з плином часу змінюються, виходячи за межі допустимих значень.

Завданням автоматизації в цьому випадку і є зведення до мінімуму відхилення основних параметрів процесу а, отже, і його вихідних величин, від необхідних значень.

Автоматизація виробничих процесів - це вищий рівень розвитку машинної техніки, отримання і використання інформації, коли регулювання і керування виробничим процесом здійснюється без участі людини, а лише під її контролем, що забезпечує досягнення поставленої технічної мети, полегшує працю, підвищуючи її продуктивність.

Розрізняють ***автоматизовані системи і автоматичні системи керування***.

Автоматизована система керування (АСК) – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв, у якій частину функцій виконує людина (ДСТУ 2941-94).

Автоматизована система керування (АСК), або автоматизована система управління (АСУ) – це автоматизована система (АС), що ґрунтується на комплексному використанні технічних, математичних, інформаційних та організаційних засобів для управління складними технічними й економічними об'єктами. Призначена для автоматизації процесів збирання та пересилання інформації про об'єкт керування, її перероблення та видавання керівних дій на об'єкт керування (ДСТУ 2226-93); сукупність економіко-математичних методів, технічних засобів (ЕОМ, пристроїв відображення інформації, засобів зв'язку та

ін.) і організаційної структури, що забезпечують раціональне керування складними об'єктами і процесами. АСК дає змогу розв'язувати задачі перспективного та оперативного планування виробництва, оперативного розподілу завантаження обладнання, оптимального розподілу обладнання та використання ресурсів і ін. АСК належить до класу **людино-машинних систем** і складається з функціональної і забезпечувальної частин. Функціональна частина включає систему моделей планово-економічних і управлінських задач, забезпечувальна частина – інформаційну і технічну бази, математичне забезпечення, економіко-організаційну базу та ін. Інформаційна база АСК – це розміщена на машинних носіях інформації сукупність всіх масивів даних, необхідних для автоматизації управління об'єктом або процесом. Техн. база – комплекс технічних засобів збору, передачі, обробки, накопичення і видачі даних, а також пристроїв, що безпосередньо впливають на об'єкти управління. Математичне (програмне) забезпечення АСК поділяється на системне і спеціальне. Перше включає операційні системи (ОС), призначені для управління роботою пристроїв обчислювальних машини. За допомогою операційних систем здійснюється також звернення до ЕОМ з віддалених абонентських пунктів. Спеціальне математичне забезпечення включає пакети прикладних програм, що здійснюють організацію й обробку даних з метою реалізації необхідних функцій управління в рамках певних економіко-математичних та організаційних моделей. Розрізняють такі основні типи АСК:

- системи організаційного (або адміністративного) керування (АСОК);

- керування технологічними процесами (АСК ТП).

До АСОК входять автоматизовані системи керування підприємством (АСКП), галузеві автоматизовані системи керування (ГАСК) і спеціалізовані автоматизовані системи керування функціональних органів управління господарством. До останніх належать автоматизовані системи планових розрахунків (АСПР), керування матеріально-технічним постачанням (АСК МТП), керування науково-технічним процесом (АСК НТП) та ін.

У гірничій промисловості працюють АСУ, збагачувальних фабрик, шахт, кар'єрів.

Автоматична система керування – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв. На відміну від автоматизованої системи керування, ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процесу автоматично, *без участі людини* (крім етапів пуску та налагодження системи). На практиці часто послуговуються терміном-аналогом **система автоматичного керування (САК)**.

Автоматичним регулюванням називають підтримку на заданому рівні певної фізичної (хімічної) величини, що характеризує процес, або зміну її згідно із заданим законом.

Автоматичне керування – більш широке поняття, в цьому випадку здійснюється сукупність впливів на процес, вибраних з певної множини можливих.

Як правило, АСКТП (вищий рівень керування) включає в себе ряд локальних САК або САР (нижній рівень), які можуть здійснювати:

- стабілізацію на заданому рівні певного параметра;
- зміну певної величини згідно із заданим законом;
- екстремальне регулювання вихідної величини процесу.

Спрощений приклад САК флотаційним процесом показано на рис. 1.1.

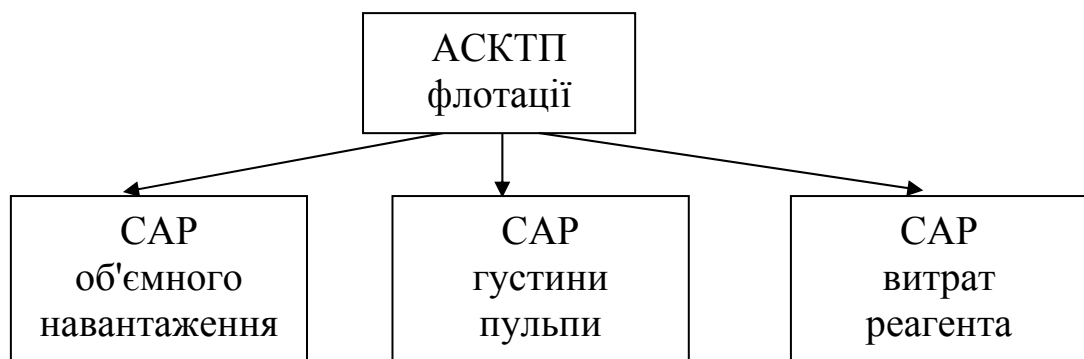


Рис. 1.1. Структурна схема САК флотаційним процесом.

Автоматика, як і будь-яка інша наука, має свої поняття і терміни, які є відображенням накопичених знань. Зупинимось на основних з них.

Автоматична система будь-якої складності складається з *керованого об'єкта* (*об'єкта автоматичного керування, регулювання*) і автоматичного керуючого пристрою (*регулятора*). Об'єкт регулювання і автоматичний регулятор і утворюють *систему автоматичного регулювання (САР)*.

Системою автоматичного регулювання (САР) називають таку *систему автоматичного керування (САК)*, задача якої полягає у підтримці вихідної величини об'єкта X на заданому рівні $X_{\text{зад}}$. У залежності від характеру задавального діяння розрізняють САР трьох видів: *системи стабілізації, системи програмного управління, слідкуючі системи*.

Лінійними автоматичними системами називають такі системи, які можна описати з достатньою точністю лінійними рівняннями (алгебраїчними, диференціальними, рівняннями в кінцевих різницях і т.д. Лінійні системи поділяють на стаціонарні і нестаціонарні. Параметри лінійних стаціонарних систем незмінні у часі, ці системи описуються лінійними рівняннями з постійними коефіцієнтами. Лінійні нестаціонарні системи мають змінні у часі параметри і описуються лінійними рівняннями із змінними коефіцієнтами.

Нелінійні системи – автоматичні системи, динаміка яких описується нелінійними рівняннями. Більшість автоматичних систем є нелінійними. Нелінійності виникають з різних причин: через наявність зон нечутливості і зони насичення в статичних характеристиках окремих елементів, при включенні в керуючий пристрій системи нелінійних елементів (реле) і т.ін. Якщо нелінійності сильно впливають на динамічні властивості системи, то їх враховують і досліджують систему як нелінійну. Однак у багатьох випадках, особливо в системах із зворотними зв'язками при малих відхиленнях, нелінійності впливають неістотним чином, і такі системи можна вважати лінійними.

Об'єкт керування (регулювання) – це сукупність технічних засобів (машин, апаратів, пристроїв), які виконують технологічний процес, але при цьому потребують спеціально організованих впливів ззовні для досягнення поставленої мети керування.

Прикладами об'єктів керування можуть служити флотаційний, гравітаційний процеси збагачення, а також флотаційна, відсаджувальна машини, магнітні сепаратори тощо.

Вхідна величина об'єкта регулювання (канал керування) – фізична величина на вході об'єкта регулювання, значення якої впливає на регульовану величину об'єкта. Цей параметр будемо позначати як $X(t)$.

Регульована (вихідна) величина - фізичний параметр, який цілеспрямовано змінюється або зберігається незмінним у процесі керування. Умовимося позначати даний параметр через $Y(t)$.

Звичайно регульовані величини в тій або іншій мірі характеризують якісно-кількісні показники процесу в керованому об'єкті.

Поточне значення регульованої величини (Y_T) – абсолютне значення параметра в даний момент часу.

Задане значення регульованої величини (Y_3) – абсолютне значення вихідного параметра, яке є метою керування даним об'єктом. Цей параметр вводиться у САР за допомогою елемента автоматики, який називають "задаючим пристроєм", або "здатчиком". Здатчик може розташовуватися поблизу регулятора або знаходитися на значній відстані від автоматичної системи і бути пов'язаним з нею дистанційно.

Впливом в автоматичці прийнято називати взаємодію між автоматичною системою (а також між її частинами) і зовнішнім середовищем. Розрізняють збурюючі, задавальні, керуючі впливи та завади (перешкоди).

Збурюючий вплив (збурення, Z_B) – фізичний або хімічний вплив на об'єкт регулювання, що спричиняє відхилення регульованої величини. Збурення часто носять випадковий характер, іноді вони не контролюються і визначаються властивостями початкової сировини (ситовий, фракційний і петрографічний склад, міра окисненості шламів, магнітна сприйнятливості вихідного продукту та інше).

Задавальний вплив – вплив, що подається на вхід регулятора і містить інформацію про заданий закон зміни керованої (регульованої) величини.

Керуючий вплив – це вплив, який виконує алгоритм керування (регулювання). Формується регулятором.

Завади (перешкоди) – сигнали або дії, які спотворюють корисний сигнал, який несе основну інформацію у пристроях вимірювання, телевимірювання, зв'язку САК, САР. Завади по суті є другорядними (не основними) збуреннями.

Автоматичний регулятор – пристрій, що виробляє керуючий сигнал для зміни (регулювання) вихідного параметра.

Виконавчий механізм – електричний, пневматичний або гідравлічний привод, що виробляє *керуючий вплив*, який через *регулюючий орган* впливає на канал керування *об'єкта регулювання* і змінює його стан. Виконавчий механізм, як правило, складається з сервомотора постійного або змінного струму та джерела живлення. Ряд виконавчих механізмів включають також підсилювачі.

Регулюючий орган – технологічний елемент, розташований, як правило, безпосередньо на об'єкті регулювання, служить для зміни вхідної фізичної величини, що впливає на регульований параметр.

Керуючий вплив ($\mu(t)$) – вплив, який виконує алгоритм керування. У САР збагачувальними процесами це найчастіше переміщення робочого елемента регулюючого органу, що спричиняє зміну вхідної величини об'єкта регулювання.

Важливими поняттями з теорії автоматичного регулювання (ТАР) є "зворотний зв'язок", "сигнал розузгодження", "перехідний процес", "стійкість САР".

Зворотний зв'язок – будь-який елемент автоматики, що передає сигнал (інформацію) з виходу якого-небудь об'єкта на його вхід. Якщо сигнал зворотного зв'язку має той же знак, що і знак сигналу основного ланцюга, то зворотний зв'язок називається додатним. *При* протилежному знаку сигналу зворотного зв'язку його називають від'ємним.

Від'ємний зворотний зв'язок знижує коефіцієнт підсилення, підвищує стійкість процесу, пригнічує (подавляє) коливання і знижує інерційність елемента. Тому основний вид зворотного зв'язку в системах автоматичного регулювання – від'ємний.

Крім того, у САР розрізняють *зовнішній* зворотний зв'язок, який з'єднує вихід усієї системи з її входом, та *внутрішній (місцевий)*, що з'єднує вихід окремого елемента або групи послідовно з'єднаних елементів з їх входом.

Зворотний зв'язок, який діє і в усталеному і у перехідному процесах називають *твердим*. Зворотний зв'язок, який діє тільки у перехідному процесі – *м'яким*.

Сигнал (у загальному випадку) – зумовлений (заздалегідь обумовлений) стан або зміна стану параметра, що відображає інформацію, яка міститься у впливі. Звичайно сигнал вира-

жається певною математичною функцією, що однозначно відображає зміни у часі певного представницького параметра.

Сигнал розузгодження ($\Delta(y)$) – векторна різниця між поточним значенням параметра і заданим. Даний сигнал звичайно надходить на вхід регулювального пристрою.

Перехідний процес – процес зміни в часі координат динамічної системи, який виникає при переході з одного усталеного режиму роботи на інший. Виникає під впливом збурювальних діянь, які змінюють їх стан, структуру або параметри системи, та внаслідок ненульових початкових умов. Залежно від характеру розрізняють: коливальний, слабкоколивальний та неколивальний перехідний процес. Серед коливальних розрізняють монотонні коливальні та немонотонні коливальні перехідні процеси.

Перехідна функція – зміна вихідної величини у часі при подачі на вхід одиничного ступінчастого впливу (перехід системи регулювання від одного сталого режиму до іншого). Розрізняють також *імпульсну перехідну функцію (функція ваги)* – зміну вихідної величини у часі при подачі на вхід одиничного імпульсного впливу.

Перехідна характеристика – графічне зображення *перехідної функції*.

Крива розгону – *перехідна характеристика* керованого об'єкта.

Стійкість САР – здатність САР не допускати нескінченного відхилення регульованої величини від заданого значення при будь-якому реальному збуренні у системі.

Вид перехідного процесу і стійкість характеризують якість роботи САР.

Самовирівнювання (саморегулювання) – властивість об'єкта керування самостійно, без участі керуючих пристроїв зводити до нуля розузгодження між припливом та витратою речовини або енергії, а керовану величину – до нового усталеного значення.

Наведена термінологія буде розширена в процесі викладу подальших розділів.

Розглянемо детальніше поняття "**об'єкт регулювання**" у прив'язці до об'єктів техніки та технології збагачення корисних копалин.

Об'єкт регулювання може мати декілька вихідних параметрів. Наприклад, флотаційна машина у цілому і окремі субпроцеси флотації, як об'єкт регулювання, має такі вихідні параметри: зольність і вихід продуктів збагачення, рівень пульпи у ванні флотомашини, ступінь аерації пульпи тощо.

Для здійснення керування об'єкт повинен мати орган керування, або регулювальний орган, змінюючи положення або стан робочого елемента якого, можна впливати на об'єкт, тобто на вихідний параметр.

Кожний вихідний параметр керується, як правило, своїм локальним каналом (вхідним чинником) з допомогою відповідної САР. Наприклад, рівень пульпи у ванні флотаційної машини можна змінювати положенням шибера в камері розвантаження хвостів флотації або зміною об'ємного навантаження на машину.

Для пояснення будови і принципу дії автоматичних систем застосовують функціональні і структурні схеми.

Функціональна схема, або блок-схема, складається з функціональних блоків, які являють собою конструктивно відособлені частини (елементи або пристрої) автоматичних систем, які виконують певні функції. Функціональні блоки на схемі позначають прямокутниками, всередині яких надписують їх найменування відповідно до функцій, що виконуються. Зв'язки між функціональними блоками (внутрішні впливи) позначаються лініями зі стрілками, які вказують напрям впливів.

Функціональні схеми можуть виконуватися в укрупненому і розгорненому вигляді. У першому випадку (рис. 1.2) на схемі зображають найбільш важливі блоки системи і зв'язки між ними.



Рис. 1.2. Укрупнена функціональна схема САР.

У другому варіанті схема зображаються більш детально, що полегшує її читання та ілюструє принцип роботи. Приклад функціональної схеми буде розглянутий у наступній лекції.

Зі схеми (рис. 1.2) видно, що регулятор виконує функцію зворотного зв'язку (сигнал з виходу об'єкта надходить на його вхід). Зворотний зв'язок, утворений регулятором, звичайно називається головним зворотним зв'язком (ГЗЗ).

Структурна схема – це сукупність елементарних ланок і зв'язків між ними. Під елементарною ланкою розуміють частину системи керування, яка реалізовує елементарну функцію. Елементарні ланки зображаються прямокутниками, а зв'язки між ними – суцільними лініями зі стрілками, що показують напрям дії ланки. Іноді в полі прямокутника вписують математичний вираз закону перетворення сигналу в ланці, у цьому випадку схему іноді називають *алгоритмічною*.

Контрольні запитання:

1. Якими особливостями характеризується процес автоматизації збагачувальних фабрик?
2. Виконайте аналіз збагачувального виробництва як об'єкта автоматизації.
3. Перерахуйте задачі, що вирішуються при автоматизації збагачувальних фабрик.
4. Дайте характеристику системи АСК ТП і САР.
5. Роз'ясніть поняття об'єкта керування, наведіть приклади.
6. Дайте визначення поняттям: регульована величина, канал керування, поточне і задане значення вихідної величини.
7. Назвіть основні види впливів у САР, дайте їх характеристику.
8. Охарактеризуйте елементи САР: автоматичний регулятор, виконавчий механізм, регульовальний орган.
Види зворотного зв'язку, поняття.
9. Дайте характеристику структурним і функціональним схемам систем автоматичного регулювання.
10. Розкрийте поняття самовирівнювання.

Література до теми: [1], [2], [4], [9-10].

2. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ І ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Класифікація систем. Системи стабілізації, слідування, програмні, екстремальні. Принципи регулювання за відхиленням, збуренням, комбіновані, адаптаційні. Функціональні схеми реалізації.

Автоматичні системи можна класифікувати за багатьма ознаками: за призначенням (системи керування технологічними режимами, апаратами і машинами), за характером керованих величин (системи регулювання температури, густини середовища, тиску та ін.); за видом енергії, що використовується для керування (електричні, гідравлічні, пневматичні й ін.) і т.д.

За характером зміни задавального впливу $x_s(t)$ (заданого значення керованої величини) автоматичні системи розділяють на три типи: системи стабілізації, програмні системи і сліdkуючі системи.

Система стабілізації – автоматична система, призначена для підтримки із заданою точністю постійного значення керованої величини.

У цій системі необхідне значення керованої величини постійне, а помилка (розузгодження) в усталеному режимі $\Delta X_{уст}$ не повинна перевершувати допустимої величини $\Delta X_{доп}$:

$$X_{ex} = const, \quad \Delta X_{уст} = X_{ex} - X_{вих} \leq X_{доп}$$

Програмна система – автоматична система, завдання якої полягає в зміні керованої величини за заделегідь складеною програмою, що визначається задаючим впливом:

$$X_{ex}(t) = F(t); \quad \Delta X_{уст} = X_{ex} - X_{вих} \leq X_{доп},$$

де $F(t)$ – заделегідь невідома функція часу.

Сліdkуюча система – автоматична система, завдання якої полягає в зміні керованої величини відповідно до заделегідь невідомої функції часу, що визначається задаючим впливом:

$$X_{ex}(t) = F(t); \quad \Delta X_{уст} = X_{ex} - X_{вих} \leq X_{дон}$$

де $F(t)$ – заздалегідь невідома функція часу.

У слідкуючій системі керована величина повинна слідувати за задавальним впливом, що звичайно є повільно змінюваною, але заздалегідь невідомою функцією часу.

Система екстремального регулювання – оптимізуюча автоматична система, призначена для пошуку і підтримки координат вхідних параметрів об'єкта, що визначають екстремальне значення вихідної величини. Подібні системи знаходять своє застосування в об'єктах, що характеризуються екстремальною статичною характеристикою з дрейфуючою точкою екстремуму.

Принципи регулювання. Незважаючи на велику різноманітність технічних процесів, побудова апаратури керування і автоматичних систем ґрунтується на ряді загальних принципів регулювання, основні з яких наступні: ***принцип регулювання за відхиленням, принцип регулювання за збуренням, принцип комбінованого регулювання і принцип адаптації.***

Принцип автоматичного регулювання (керування) визначає, як і на основі якої інформації формувати керуючий вплив у системі. Однією з основних ознак, що характеризують принцип регулювання, є необхідна для вироблення керуючого впливу робоча інформація. Вибір принципу побудови автоматичної системи залежить від її призначення, характеру зміни задавальних і збурювальних впливів, можливостей отримання необхідної робочої інформації, стабільності параметрів керованого об'єкта і елементів керуючого пристрою і т.ін.

Принцип регулювання за відхиленням

Якщо в автоматичній системі керуючий вплив виробляється на основі інформації про відхилення регульованої величини від заданого значення, то кажуть, що система побудована на основі принципу регулювання за відхиленням, або принципу зворотного зв'язку. Для реалізації цього принципу в регулюючому пристрої необхідно здійснювати порівняння дійсного значення регульованої величини із заданим значенням та управляти об'єктом в залежності від результатів цього порівняння.

Як приклад розглянемо САР за відхиленням, показану на рис. 2.1.

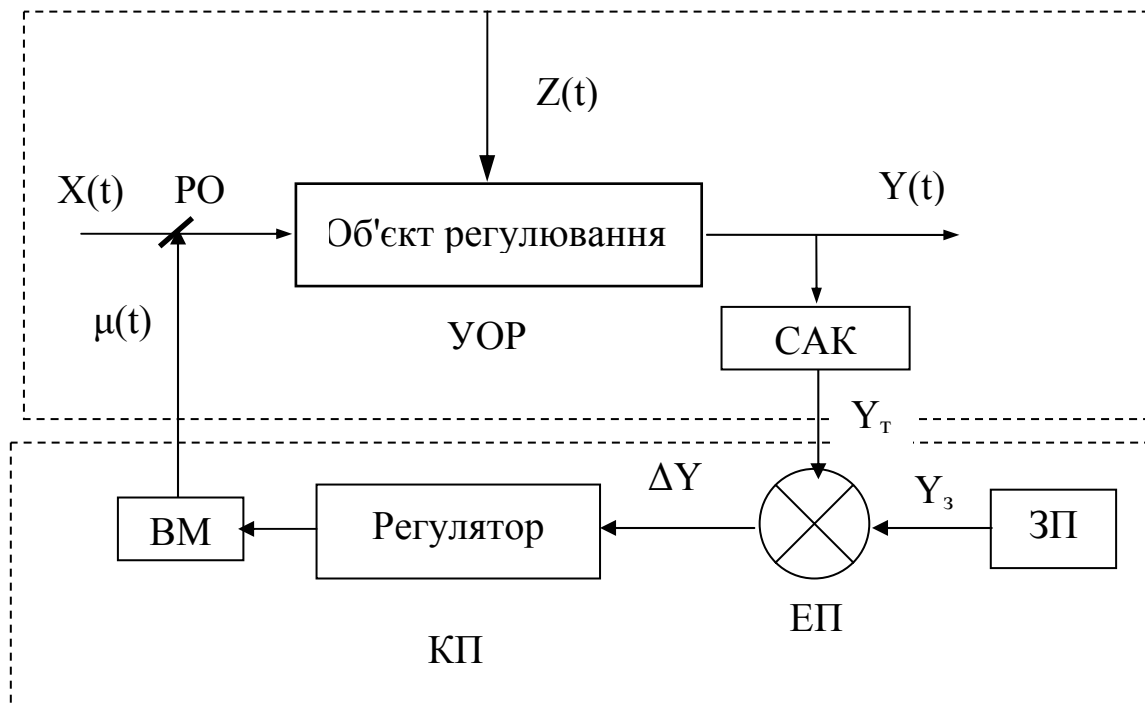


Рис. 2.1. Функціональна схема САР за відхиленням.

УОР – узагальнений об'єкт регулювання, **КП** – керуючий пристрій, **X(t)** – вхідний параметр об'єкта, **Y(t)** – вихідний (регульований) параметр, **Z(t)** – збурюючий вплив, **Y_т**, **Y_з** – поточне і задане значення параметра, **ΔY** – сигнал розузгодження, **μ(t)** – керуючий вплив, **САК** – система автоматичного контролю, **ЗП** – задаючий пристрій, **ЕП** – елемент порівняння, **ВМ** – виконавчий механізм, **РО** – регулюючий орган.

На схемі об'єкт керування (регулювання), регулюючий орган (РО) і система автоматичного контролю вихідного параметра (САК) об'єднані в окремий блок – узагальнений об'єкт регулювання (УОР). У свою чергу, регулятор, виконавчий механізм (ВМ), елемент порівняння (ЕП) і задаючий пристрій (ЗП) утворюють блок керування або керуючий пристрій (КП). Система автоматичного контролю вихідного параметра (САК) служить для автоматичного вимірювання абсолютного значення регульованої величини і вироблення сигналу її поточного значення (Y_т). Згідно з вимогами, що висуваються до систем контролю, вихідний сигнал вимі-

рювального пристрою повинен бути пропорційним вимірюваній величині. Крім того, вихідний сигнал несе інформацію про напрям відхилення вимірюваної величини.

Елемент порівняння (ЕП) – елемент автоматики, що звичайно входить до складу регулятора, виробляє сигнал розузгодження $\Delta(y)$ (векторну різницю між поточним значенням регульованого параметра і заданим):

$$\Delta(y) = Y_m - Y_z \quad (2.1)$$

Робота представленої системи проста. При відхиленні регульованої величини від заданого значення на елементі порівняння формується сигнал розузгодження (за 2.1), який після підсилення і перетворення за необхідним алгоритмом у регуляторі керує роботою виконавчого механізму.

Останній впливає на регулюючий орган, змінюючи значення вхідного сигналу доти, поки не зникне відхилення поточного значення регульованої величини від заданого, тобто до моменту виконання умови $\Delta Y=0$.

Принцип керування за відхиленням є універсальним і ефективним, оскільки він дозволяє враховувати всі впливи на об'єкт (всіх збурень і завад), управляти складними об'єктами, а також здійснювати необхідний закон зміни керованої величини з допустимо малим відхиленням (помилкою) незалежно від того, якими причинами воно викликане.

Однак, при великому транспортному запізненні об'єктів керування цей принцип може бути непридатним і САК буде нестійкою. Тобто, при швидкоплинних змінах вхідного збурення і фіксації їх наслідку (відхилення керованої величини) через порівняно тривалий проміжок часу керуючий вплив “не встигатиме” за збуренням (и), а в ряді випадків навіть погіршуватиме стан об'єкту керування.

Характерною рисою автоматичних систем, побудованих на основі принципу керування за відхиленням, є наявність контролю регульованої величини і головного зворотного зв'язку (ГЗЗ). Зворотний зв'язок в цьому випадку утворений керуючим пристроєм.

Принцип регулювання за збуренням

Принцип керування за збуренням, або принцип компенсації збурень, полягає в тому, що керуючий вплив у системі виробляється в залежності від результатів вимірювання збурення, що діє на об'єкт. Іншими словами, в даних системах керуючий вплив є функцією збурюючого впливу.

Величина і знак керуючого впливу повинні бути такими, щоб повністю або значною мірою компенсувати вплив збурюючого впливу на об'єкт.

Системи, побудовані за цим принципом, працюють за розімкненим ланцюгом, тобто не мають зворотного зв'язку.

На сьогодні принцип керування за збуренням у збагачувальній практиці застосовується рідко. Основна причина цього – складність, а часто і неможливість виміряти і врахувати всі збурення, що діють на об'єкт. Звичайно враховується дія лише одного або декількох найбільш істотних збурень, які вимірюються контролюючими пристроями.

Приклад реалізації САР за збуренням показано на рис. 2.2.

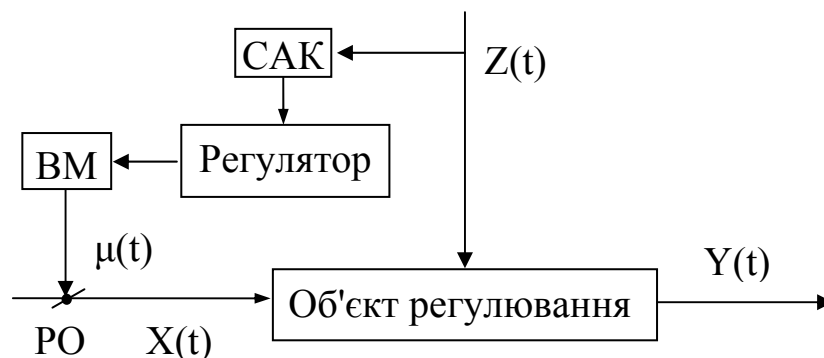


Рис. 2.2. Функціональна схема САР за збуренням.

На представлений схемі не показані проміжні ланки – елемент порівняння і задаючий пристрій.

Принцип роботи схеми зрозумілий з рисунка. Особливість реалізації схеми – вибір каналу керування на об'єкті ($X(t)$), здатного компенсувати вплив збурюючого впливу на вихідний параметр.

Основна перевага систем за збуренням – висока швидкодія ланцюгів компенсації, оскільки система реагує безпосередньо на причину, а не на наслідок, тобто регулятор починає працювати в

момент виникнення збурення на вході в об'єкт керування. Недолік розімкннутих САР – реакція тільки на основні збурення, які можна виміряти, і nereагування на завади (другорядні впливи).

При надходженні на об'єкт декількох основних збурень необхідно передбачати таке ж число локальних САР. Це суттєво ускладнює систему керування об'єктом. Тому розімкнуті системи застосовують у випадку наявності одного основного збурення і високого самовирівнювання об'єкта.

Принцип комбінованого регулювання

Сучасні автоматичні системи високої точності звичайно будують на основі принципу комбінованого керування, що поєднує в собі принципи керування за відхиленням і за збуренням. При цьому в автоматичних системах комбінованого керування нарівні із замкненими контурами, що утворюються від'ємними зворотними зв'язками, є ланцюги компенсації основного збурюючого впливу $Z(t)$ або додатковий ланцюг компенсації помилок від задаючого впливу. Подібні системи рекомендується застосовувати для керування об'єктами, які характеризуються наявністю істотних збурень, великою інерційністю і присутністю транспортного запізнення.

Принцип комбінованого керування вільний від недоліків САР за відхиленням і збуренням і поєднує їх переваги.

Принцип адаптації

Розглянуті принципи автоматичного керування довгий час були єдиними. Однак успішний розвиток кібернетики дозволив застосувати в автоматичних системах новий принцип керування – принцип адаптації (приспосовування). Характерна особливість цього принципу – здатність системи до самонастройки (налагодження) при зміні характеристик об'єкта керування, властивостей вхідного сигналу і діючих обурень. По суті в залежності від зовнішніх умов у цих системах з метою найкращого керування об'єктом змінюється спосіб функціонування системи або її структура.

Для досягнення необхідних показників якості процесу керування до основної системи підключені наступні додаткові пристрої, які створюють контур самоналагодження: *пристрій аналізу вхідного сигналу*, що оцінює властивості вхідного сигналу,

наприклад, швидкість і прискорення зміни задаючого впливу, а також визначає спектральну щільність збурень. Такий аналіз необхідний для вибору критерію оптимальності системи; *пристрій аналізу об'єкта*, призначений для оцінки змін динамічних характеристик керованого об'єкта; *обчислювальний пристрій*, що визначає спосіб зміни характеристик основного керуючого пристрою (параметрів, структури або закону керування) на основі закладених в ньому критеріїв оптимальності системи; *виконавчий пристрій* контура самоналагодження, виконує функцію настройки керуючого пристрою відповідно до сигналів, які надходять від обчислювального пристрою.

Роботу контура самоналагодження можна представити як процес автоматичної настройки керуючого пристрою основної системи за сукупністю поточної інформації про змінні умови роботи для досягнення поставленої мети керування.

У практиці автоматизації гірничо-збагачувального виробництва подібні системи в даний момент перебувають на стадії розробки.

Контрольні запитання:

1. Наведіть класифікацію систем автоматичного регулювання.
2. Охарактеризуйте систему стабілізації.
3. Розкрийте поняття програмної і слідкуючої систем автоматичного регулювання.
4. Опишіть принципи регулювання.
5. Наведіть функціональну схему системи регулювання за відхиленням, поясніть її роботу.
6. Яким чином формується сигнал розузгодження у САР за відхиленням?
7. Функціональна схема САР за збуренням і її робота.
8. Охарактеризуйте комбіновані САР і галузь їх застосування.
9. Яким чином реалізується принцип адаптаційного регулювання?

Література до теми: [1], [3], [7], [9-10].

3. МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИКИ І ТИПОВІ ЛАНКИ СИСТЕМ

Математичні характеристики елементів автоматики. Диференціальні рівняння, передавальні функції, частотні характеристики. Поняття типових ланок систем регулювання і їх характеристики. Типові з'єднання ланок.

Системи керування – це сукупність елементів, в яких відбуваються процеси різної фізичної природи. У системі одночасно можуть бути присутніми механічні, електричні, пневматичні і інші елементи, що взаємодіють між собою за відповідними законами, при цьому відбувається перетворення одного виду енергії в інший. Особливість цих елементів полягає в тому, що вони характеризуються детекторними властивостями, тобто здатністю передавати сигнал (інформацію) в одному напрямку. Наприклад, зміна температури гарячого спаю термопари спричиняє появу нового значення термоерс (термічної електро-рушійної сили) на виході ланки, однак зміна термоерс не впливає на температуру на вході. Без ланок з детекторними властивостями системи автоматичного керування непрацездатні або малоефективні.

Для розрахунку і досліджень систем автоматичного регулювання необхідно мати інформацію про статичні і динамічні властивості елементів, з яких складається система. Іншими словами, елементи системи повинні бути представлені універсальними математичними характеристиками.

До них належать диференціальні рівняння, передавальні функції, перехідні функції (криві розгону), частотні характеристики. Розглянемо їх докладніше.

Диференціальні рівняння. Для елемента (системи) з одним вхідним впливом $x(t)$ і однією вихідною величиною $y(t)$ лінійне диференціальне рівняння, що описує його властивості, має такий загальний вигляд:

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y = b_0 x + b_1 \frac{dx}{dt} + \dots + b_m \frac{d^m x}{dt^m} \quad (3.1)$$

Вираз (3.1) називають рівнянням динаміки або рівнянням руху елемента у часі. Параметри рівняння (a_i і b_i) залежать від конструкції елементів, маси частин, що переміщуються, об'ємів, місткості і т.д.

Якщо у рівнянні (3.1) всі похідні прирівняти нулю, то отримаємо статичну характеристику елемента (системи):

$$y = f(x) \text{ або } y = kx, \text{ де } k = \frac{b_0}{a_n} \quad (3.2)$$

Рішення рівняння (3.1) описує поведінку вихідної величини $y(t)$ при заданих початкових умовах і конкретному законі зміни вхідної величини $x(t)$.

Розрахунок систем регулювання значно спрощується, якщо використати не диференціальні рівняння елементів системи, а їх передавальні функції.

Передавальна функція – це відношення вихідної величини ланки до вхідної за нульових початкових умов. При цьому вказані величини виражені в операторній формі, тобто

$$W(p) = Y(p) / X(p) \quad (3.3)$$

Будь-яку тимчасову функцію $y(t)$, $x(t)$ можна перетворити в її зображення $Y(p)$ і $X(p)$ в просторі Лапласа, де всі функції залежать не від t , а від змінної p . Диференціювання у часі, наприклад, області $dy(t)/dt$ відповідає множенню на змінну p в просторі Лапласа – $pY(p)$. Аналогічно $d^2y(t)/dt^2 = p^2Y(p)$. У подальших математичних перетвореннях оператор " p " розглядається як алгебраїчний співмножник, який можна винести за дужки, скорочувати і т.ін.

Таким чином, будь-яке диференціальне рівняння можна представити в операторній формі, формально замінивши операцію диференціювання d/dt символом p . Наприклад, диференціальне рівняння

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx$$

в операторній формі має вигляд $TpY+Y=kX$ або $(Tp+1)Y=kX$, звідки передавальна функція, згідно (3.3), дорівнює

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

Перехідна функція. Математичне рішення рівняння (3.1) описує поведінку вихідної величини $y(t)$ при заданому законі зміни вхідної величини $x(t)$ і заданих початкових умовах. Серед множини рішень велике практичне значення має ступінчаста перехідна функція або *крива розгону* – це реакція вихідної величини елемента на ступінчасту одиничну зміну вхідної $x=1(t-t_0)$ за нульових початкових умов (рис. 3.1). Криву розгону часто знімають експериментально на діючому об'єкті керування. Обробка кривої розгону дозволяє оцінити статичні і динамічні властивості об'єкта регулювання, отримати передавальну функцію.

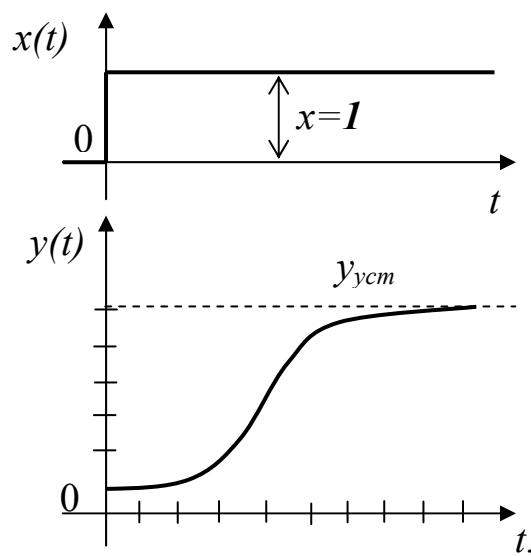


Рис. 3.1. Крива розгону елемента автоматики.

Частотні характеристики. Важливою характеристикою динамічних властивостей елемента (і системи в цілому) є реакція на синусоїдальний вплив. Частотні характеристики отримують шляхом заміни змінної " p " у просторі Лапласа на уявну частоту $j\omega$, тут $j=\sqrt{-1}$.

Тоді на основі (3.1) і (3.3) амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) має вигляд:

$$W(j\omega) = (b_0x + b_1j\omega + \dots + b_m(j\omega)^m) / (a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n) \quad (3.4)$$

Отриманий вираз іноді називають комплексним коефіцієнтом передачі. Для практичних розрахунків систем і побудови АФЧХ вираз (3.4) розділяють на дві частини – дійсну $Re(w)$ і уявну $Im(w)$:

$$W(j\omega) = Re(w) + j Im(w) = A(\omega) \exp(j\varphi(\omega)), \quad (3.5)$$

де A і φ амплітудна і фазова частотні характеристики.

$$A(\omega) = \sqrt{Re^2(\omega) + Im^2(\omega)}, \quad \varphi(\omega) = \arctg(\omega T), \quad (3.6)$$

На рис. 3.2 показано вигляд загальної амплітудно-фазової частотної характеристики елемента автоматики. Годограф АФЧХ отримують шляхом підстановки у вираз (3.5) значень ω від 0 до ∞ .

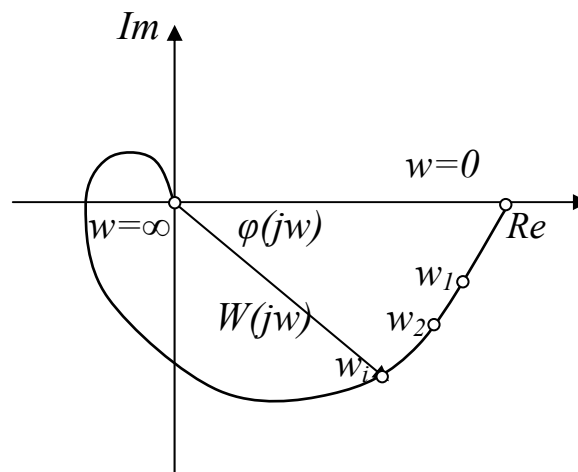


Рис. 3.2. Амплітудно-фазова частотна характеристика.

Типові ланки систем регулювання

Незважаючи на велику різноманітність елементів автоматики, які розрізняються між собою за фізичною природою, конструктивним виконанням, потужністю і т.ін., можна виділити усього декілька типових (елементарних) ланок, за допомогою яких можна буде побудувати будь-які більш складні ланки, що зустрічаються на практиці. Або навпаки – складні алгоритмічні схеми систем керування можуть бути розбиті на прості типову ланки не вище другого порядку.

Типові ланки поділяються на пропорційні (підсилювальні), аперіодичні (інерційні), коливальні, інтегрувальні, диференціюючі і ланки транспортного запізнення.

Пропорційна ланка. Це найбільш прості ланки. Прикладами може бути подільник напруги, важіль, механічний редуктор, підсилювальний каскад тощо. Для цих ланок справедлива пропорційна залежність між вхідною і вихідною величинами:

$$y_{\text{вих}}(t) = kx_{\text{вх}}(t), \quad (3.7)$$

де k – коефіцієнт передачі (підсилення).

Передавальна функція даної ланки чисельно дорівнює коефіцієнту передачі:

$$W(p) = k \quad (3.8)$$

Приклад пропорційної ланки і її характеристики показано на рис. 3.3.

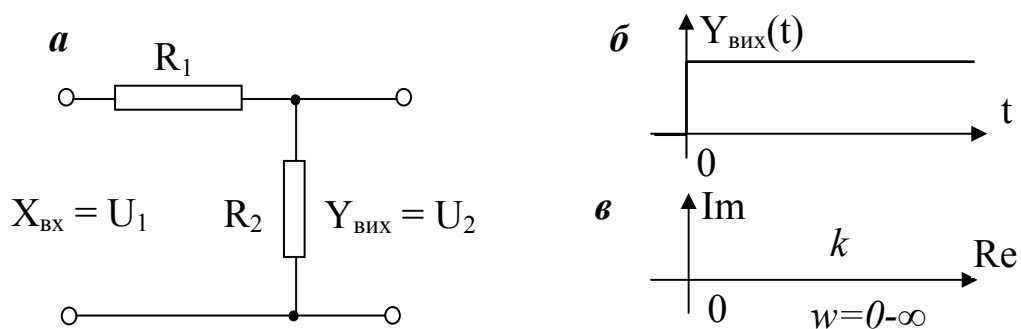


Рис. 3.3. Приклад пропорційної ланки – подільник напруги (а), перехідна (б) і амплітудно-фазова функція (в).

Аперіодична ланка першого порядку (рис. 3.4).

Аперіодична ланка описується диференціальним рівнянням:

$$T \frac{dy_{\text{вих}}}{dt} + y_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}} \quad (3.9)$$

де T – стала часу; k - коефіцієнт передачі.

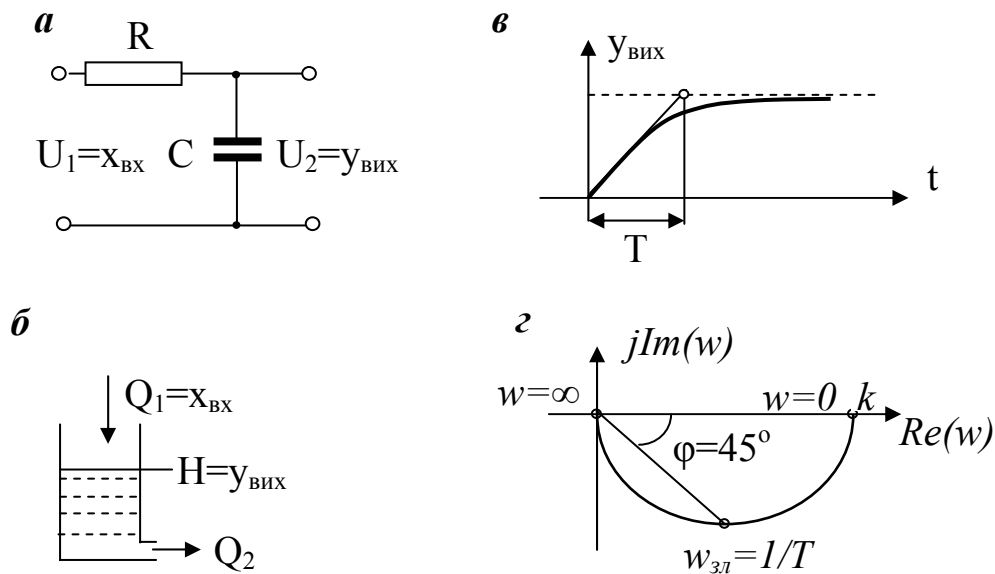


Рис. 3.4. Приклади аперіодичної ланки (а, б), перехідна (в) і амплітудно-фазова (г) характеристики.

Як показано в (3.1), передавальна функція даної ланки визначається виразом:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} \quad (3.10)$$

Прикладами аперіодичної ланки є тепловий об'єкт, де входом служить, наприклад, витрата палива, а вихідною величиною температура. Інший приклад – технологічна посудина (ємність) з вільним витіканням рідини, тут вхідний сигнал – витрата рідини, що надходить у посудину, а вихідний – її рівень у посудині.

Перехідна функція аперіодичної ланки досягає свого сталого значення не відразу, як в підсилювальній ланці, а поступово згідно з експоненціальним (аперіодичним) законом, через що ланка і отримала свою назву. Мірою інерційності ланки є постійна часу T . Чим менше T , тим аперіодична ланка ближча за своїми динамічними властивостями до пропорційної. Наприклад, стала часу електронних підсилювачів систем регулювання дорівнює $10^{-4} - 10^{-6}$ сек., тому ці підсилювачі розглядають як пропорційні ланки.

Частотні характеристики ланки можна отримати з (3.10). Амплітудно-фазова характеристика представлена виразом:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T} \quad (3.11)$$

Для побудови амплітудно-фазової характеристики ланки виділимо у виразі (3.11) дійсну і уявну частини шляхом виключення уявної складової в знаменнику. Отримаємо:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{k}{1 + \omega^2 T^2}, \quad \operatorname{Im}(\omega) = -\frac{k\omega T}{1 + \omega^2 T^2} \quad (3.11a)$$

У відповідності з (3.6) маємо амплітудну і фазову частотні характеристики:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}, \quad \varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)} = -\operatorname{arctg}(T\omega) \quad (3.12)$$

Амплітудно-фазова частотна характеристика може бути представлена виразом:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = \frac{k}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}} e^{-j\operatorname{arctg}(T\omega)} \quad (3.13)$$

З аналізу амплітудно-частотної характеристики $A(\omega)$ випливає, що аперіодична ланка має властивість фільтра – добре пропускає сигнали малих частот і погано – великих, із збільшенням частоти зменшується амплітуда вихідного сигналу. Аналіз фазової характеристики $\varphi(\omega)$ показує, що вихідні коливання відстають від вхідних. Це відставання змінюється в межах від 0 до 90° . На частоті зламу $\omega_{зл} = 1/T$ $\varphi(\omega) = -45^\circ$.

Коливальна ланка. Коливальна ланка описується рівнянням другого порядку:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3.14)$$

де T_1 і T_2 – сталі часу; k – коефіцієнт передачі.

Із (3.14) випливає передавальна функція ланки:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (3.15)$$

На рис. 3.5 наведено приклади фізичної реалізації коливальної ланки: а – коливальний контур з R, L, C параметрами і механічна система, що включає пружину і гідравлічний демпфер (б).

Перехідна функція (рішення рівняння 3.14) може мати аперіодичний (пунктирна лінія на рис. 3.5 в) і коливальний вид (суцільна лінія).

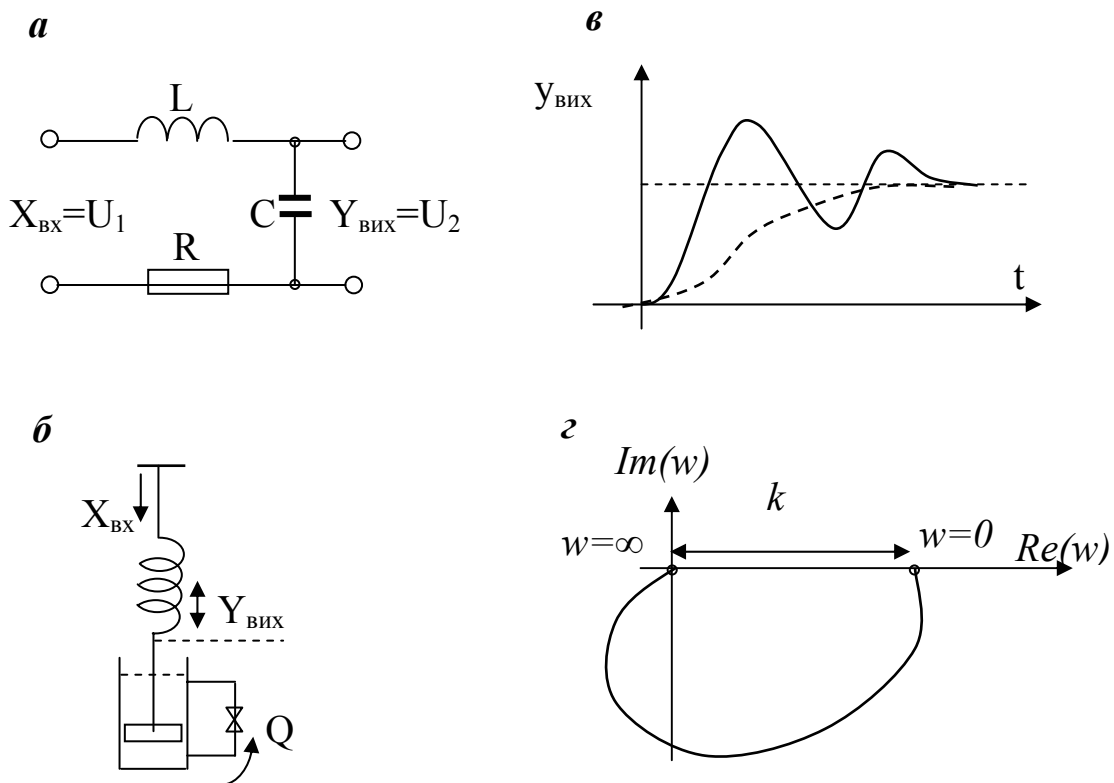


Рис. 3.5. Приклади коливальної ланки (а і б), перехідна (в) та амплітудно-фазова характеристики (г).

Для того щоб ланка було коливальною, необхідно, щоб дискримінант коренів характеристичного рівняння (знаменник виразу 3.15) був від'ємним.

Корені характеристичного рівняння знаходять за виразом:

$$p_{1,2} = -\frac{T_1}{2T_2^2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4T_2^4} - \frac{1}{T_2^2}}$$

Для того щоб підкореневий вираз був від'ємним, необхідно виконання умови:

$$\frac{T_1}{T_2} < 2 \quad (3.16)$$

Коливальна ланка характеризується коефіцієнтом загасання ξ :

$$\xi = \frac{T_1}{2T_2} \quad (3.17)$$

Тоді з урахуванням (3.16 і 3.17) можна вважати, що при $\xi < 1$ ланка належить до коливального виду, при $\xi = 1$ ланка стає аперіодичною другого порядку, яку можна представити у вигляді двох типових ланок – аперіодичних першого порядку, з'єднаних послідовно.

Амплітудно-фазова частотна характеристика коливальної ланки (рис. 3.5 г) відрізняється тим, що її годограф захоплює від'ємну область дійсної осі координатного простору.

Інтегровальна ланка. Рівняння ланки в інтегральній формі має вигляд:

$$y_{\text{вих}}(t) = k \int_0^t x_{\text{вх}}(t) dt$$

або в диференціальній формі $\frac{dy_{\text{вих}}(t)}{dt} = kx_{\text{вх}}(t) \quad (3.18)$

Перейшовши до операторної форми, отримаємо передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{k}{p}$$

Амплітудно-фазова характеристика: $W(j\omega) = \frac{k}{j\omega} = -j \frac{k}{\omega}$.

З одержаних рівнянь видно, що при постійному вхідному сигналі вихідний сигнал інтегруючої ланки вмиг починає змінюватися з постійною швидкістю, що в реальних умовах практично нездійсненно. Тому всі вищенаведені рівняння справедливі для *ідеальної* інтегруючої ланки.

У реальній інтегруючій ланці присутня певна інерційність, тому диференціальне рівняння і передавальна функція реальної інтегруючої ланки мають вигляд:

$$\frac{d^2 y_{\text{вих}}(t)}{dt^2} + \frac{dy_{\text{вих}}(t)}{dt} = kx_{\text{ex}}(t) \quad \text{і} \quad W(p) = \frac{k}{p(Tp+1)}$$

Прикладом реальної інтегруючої ланки може служити будь-який технологічний збірник (накопичувач) матеріалу, де вхідний сигнал – надходження матеріалу, а як вихідна величина – його маса в збірнику.

На рис. 3.6 показано основні характеристики інтегруючої ланки.

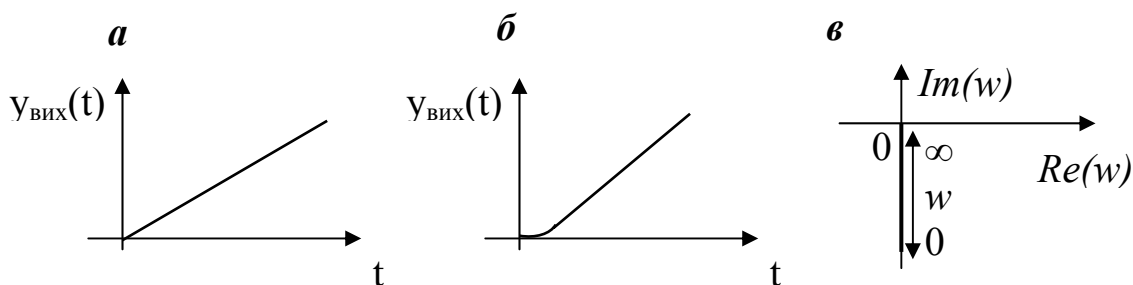


Рис. 3.6. Перехідна функція ідеальної (а), реальної (б) інтегрувальної ланки та амплітудно-фазова характеристика ідеальної ланки (в).

Диференціююча ланка. Вихідна величина цієї ланки пропорційна швидкості зміни вхідної:

$$y_{\text{вих}}(t) = k \frac{dx_{\text{ex}}(t)}{dt},$$

звідки передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = kp. \tag{3.19}$$

Однак не існує такого реального елемента, в якому на виході точно відтворювалася б похідна від будь-якого вхідного сигналу. Тому тут також класифікують ланки на ідеальні і реальні. Прикладом диференціюючої ланки може служити електрична ємність (С), якщо вхідним сигналом вибрати прикладену до неї напругу u , а вихідним – протікаючий струм i . Тоді маємо: $i = C \frac{du}{dt}$, що відповідає виразу (3.19). Ідеальною ланкою даний

елемент може бути, якщо нехтувати опором ліній підключення ємності. Фактично ланка повинна бути представлена схемою (рис. 3.7 а).

У цьому випадку струм через опір і ємність буде однаковий, і у відповідності з другим законом Кірхгофа можна отримати:

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{du_{ex}}{dt},$$

принявши $T=RC$ і $k=1/R$, маємо:

$$T \frac{di}{dt} + i = kT \frac{du_{ex}}{dt}, \quad (3.20)$$

де T – стала часу, k – коефіцієнт передачі.

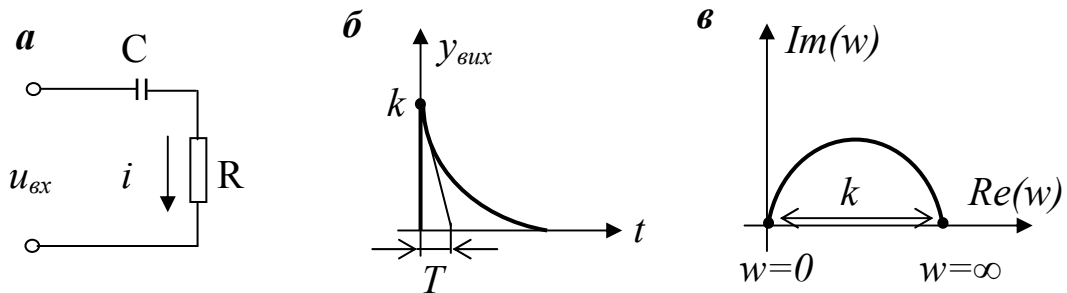


Рис. 3.7. Схема реальної диференціюючої ланки (а), перехідна (б) і амплітудно-частотна характеристики (в).

У загальному випадку рівняння реальної диференціюючої ланки:

$$T \frac{dy_{vux}(t)}{dt} + y_{vux}(t) = kT \frac{dx_{ex}}{dt}, \quad (3.21)$$

звідки передавальна функція:

$$W(p) = \frac{kTp}{Tp + 1}. \quad (3.22)$$

Рішення диференціального рівняння (3.21) має вигляд:

$y_{vux}(t) = ke^{-\frac{t}{T}}$, його графічне представлення показано на рис. 3.7 б.

Амплітудно-фазова характеристика реальної диференціюючої ланки являє собою напівколо, розташоване в першому квадранті комплексної площини з центром на дійсній осі на відстані $k/2$ від початку координат (рис. 3.7 в).

Ланка транспортного (чистого) запізнення. На відміну від попередніх ланок, ця ланка описується рівнянням з аргументом, що запізнюється:

$$y_{\text{вих}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau), \quad (3.23)$$

де τ – час транспортного запізнення.

Вихідна величина ланки запізнення точно копіює його вхідну величину, однак з деяким запізненням за часом τ .

Прикладом ланки, що запізнюється, може служити конвеєр, в якому після зміни вхідної величини, наприклад, подачі матеріалу на початку конвеєра, повинен минути певний проміжок часу τ , перш ніж почнеться зміна вихідної величини – кількість матеріалу в зоні розвантаження конвеєра.

Передавальна функція і АФЧХ ланки мають вигляд:

$$W(p) = e^{-p\tau} \text{ і } W(j\omega) = e^{-j\omega\tau}. \quad (3.24)$$

Графічно амплітудно-фазова характеристика має вигляд кола одиничного радіуса з центром на початку координат (рис. 3.8 б). При $\omega=0$ вектор АФЧХ розташовується вздовж додатної дійсної напівосі, із зростанням ω вона обертається за годинниковою стрілкою і при $\omega=2\pi/\tau$ повертається в початкове положення.

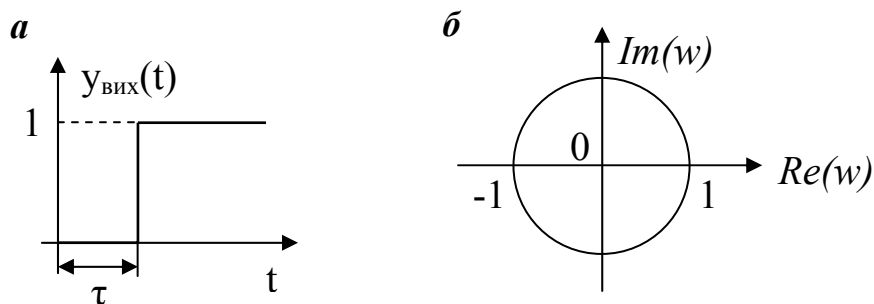


Рис. 3.8. Перехідна і амплітудно-фазова характеристики ланки транспортного запізнення.

На завершення, зазначимо, що наявність у системі регулювання ланки транспортного запізнення значно знижує якість регулювання, а іноді робить систему регулювання нестійкою, що буде розглянуто нижче.

Динамічні характеристики типових з'єднань ланок

У системах регулювання ланки можуть з'єднуватися у найрізноманітніших поєднаннях. Існує три основних види з'єднань ланок, комбінуючи які, можна прийти до будь-якої складної системи. Це: послідовне, паралельне і зустрічно-паралельне (обхват ланки зворотним зв'язком) з'єднання.

Структурні схеми різних з'єднань ланок показано на рис. 3.9.

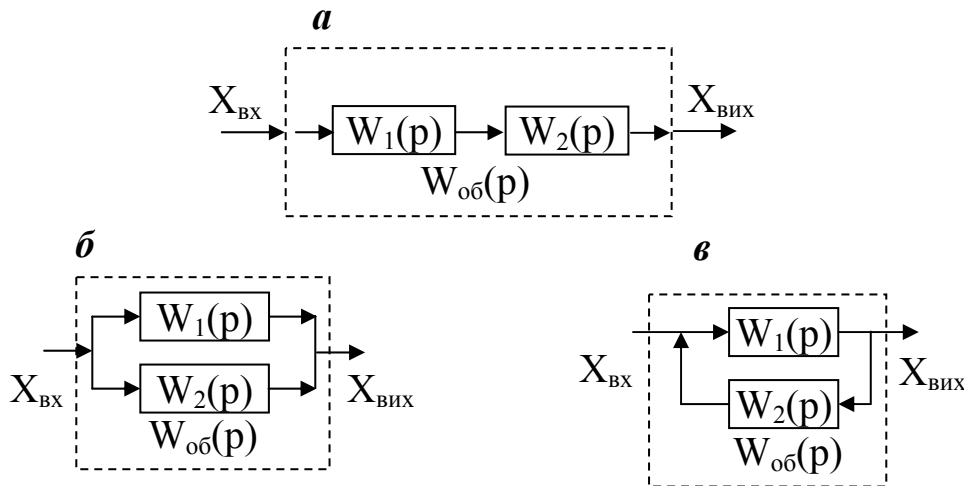


Рис. 3.9. Варіанти з'єднання ланок.

Неважко бачити, що при послідовному з'єднанні ланок (рис. 3.9 а) передавальна функція загальної (підсумкової) ланки дорівнює добутку передавальних функцій елементарних ланок, а при паралельному з'єднанні (рис. 3.9 б) – сумі передавальних функцій. Тому у разі з'єднання двох ланок маємо:

$$W_{об1}(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \quad \text{і} \quad W_{об2}(p) = W_1(p) + W_2(p)$$

Зустрічно-паралельне включення (рис. 3.9 в) часто називають з'єднанням з обхватом ланки зворотним зв'язком.

На схемі видно, що ланка з передавальною функцією $W_2(p)$ охоплює як зворотний зв'язок першу ланку. У цьому випадку передавальна функція загальної ланки зображується виразом:

$$W_{об}(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)} \quad (3.25)$$

При цьому в знаменнику ставиться знак " + ", якщо зворотний зв'язок від'ємний, і " - " при додатному зворотному зв'язку.

Для забезпечення стійкості елементів автоматики і систем загалом найчастіше застосовують від'ємні зворотні зв'язки.

Контрольні запитання:

1. Наведіть способи представлення динамічних характеристик елементів САР.

2. Наведіть у загальному вигляді диференціальне лінійне рівняння для будь-якого елемента САР.

3. Поясніть поняття передавальної функції елемента САР. Як на основі диференціального рівняння отримати передавальну функцію?

4. Поясніть поняття перехідної функції елемента автоматики.

5. Охарактеризуйте частотні характеристики елементів САР.

6. Назвіть типові ланки систем регулювання.

7. Наведіть характеристики пропорційної ланки.

8. Наведіть приклади аперіодичної ланки першого порядку і її характеристики.

9. Наведіть всі динамічні характеристики реальної та ідеальної диференціюючої ланки.

10. Наведіть характеристики коливальної ланки.

11. Яким чином визначається коефіцієнт загасання коливальної ланки?

12. Наведіть динамічні характеристики реальної та ідеальної інтегрувальної ланки.

Література до теми № 3: [1], [2], [6], [9-10].

4. ОБ'ЄКТИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Поняття об'єкта регулювання і види впливів на нього. Класифікація об'єктів і їх динамічні характеристики. Криві розгону, графічна обробка статичних і астатичних об'єктів регулювання.

4.1. Загальні відомості

Об'єкти регулювання на збагачувальних фабриках характеризуються великим різноманіттям своїх технологічних властивостей і призначення. Однак з позицій автоматичного регулювання вони можуть бути узагальнені за деякими ознаками.

У залежності від числа регульованих величин, необхідних для ефективної роботи регульованих об'єктів, останні розділяються на об'єкти з однією і декількома регульованими величинами.

Об'єкти з однією регульованою величиною мають одну вихідну $Y_{вих}$ і декілька вхідних величин, з яких одна є регулюючим впливом X_p , а всі інші – збурюючими впливами $X_{e1}, X_{e2}, \dots, X_{en}$. (рис. 4.1 а). Збурення, що діє на об'єкт по тому ж каналу, що й регулюючий вплив, називається *внутрішнім*, або *основним*. Інші збурення називаються *зовнішніми*.

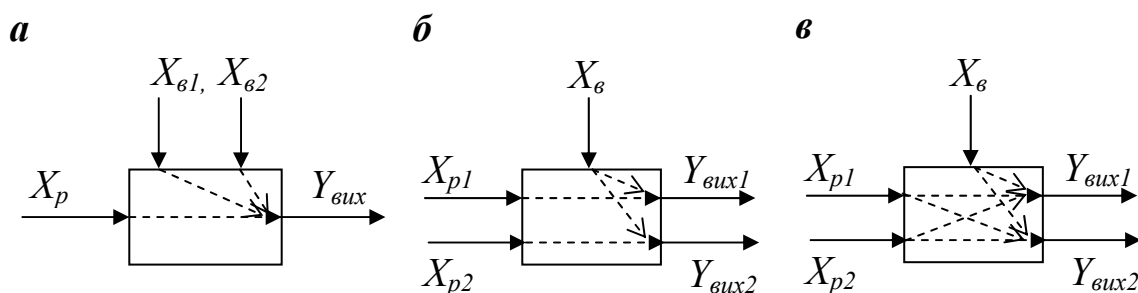


Рис. 4.1. Схеми передачі впливів у об'єкті з однією регульованою величиною (а) і з двома регульованими величинами (б, в).

У межах невеликих відхилень цих величин промислові об'єкти регулювання можуть розглядатися як лінійні системи. Тому відхилення регульованої величини $Y_{вих}$, викликане дією всіх вхідних величин, дорівнює сумі відхилень, викликаних дією кожного вхідного сигналу нарізно.

Для повного опису динамічних властивостей об'єкта з однією регульованою величиною необхідно знати стільки його диференціальних рівнянь (або характеристик, що замінюють їх), скільки вхідних величин він має.

У разі регульованого об'єкта з декількома регульованими величинами (рис. 4.1 б, в) число регулюючих впливів, а отже, і кількість регулюючих органів, як правило, дорівнює числу регульованих величин.

У даному варіанті можливі два випадки:

1. Кожний канал керування (регулюючий орган) впливає тільки на одну регульовану величину (рис. 4.1 б). Тут об'єкт регулювання можна розбити на відповідне число незалежних один від одного локальних об'єктів. Тоді система регулювання об'єкта загалом складається з ряду окремих підсистем з однією регульованою величиною, які можуть працювати незалежно один від одного. Число таких підсистем повинно дорівнювати числу регульованих величин об'єкта. Реалізація системи керування таким об'єктом не викликає ускладнень.

2. Кожний канал керування, крім впливу на регульовану величину (за ним закріплену), певним чином впливає і на інші регульовані величини (рис. 4.1 в). У цьому випадку регульований об'єкт з декількома взаємопов'язаними регульованими величинами формально може бути представлений таким, що складається з декількох локальних об'єктів з однією регульованою величиною кожний, як і в першому випадку. Однак потрібно враховувати, що на кожний з цих локальних об'єктів впливають додаткові збурюючі впливи з боку інших локальних об'єктів. Тому настройка даних об'єктів іноді пов'язана з певними труднощами. У цих випадках існують способи реалізації принципу інваріантності локальних об'єктів, які забезпечують їх автономність. Але це питання тут не розглядається.

4.2. Класифікація і динамічні характеристики об'єктів регулювання

Незважаючи на різноманітність динамічних властивостей промислових об'єктів регулювання, можна виділити деякі специфічні особливості, властиві більшості з них. Однією з цих особливостей є вид перехідної функції об'єкта регулювання, за яким вони класифікуються на три категорії: стійкі, нестійкі і нейтральні.

Об'єкт стійкий, якщо після закінчення дії зовнішнього імпульсного збурення (X) він з плином часу повернеться до початкового стану (рис. 4.2 а).

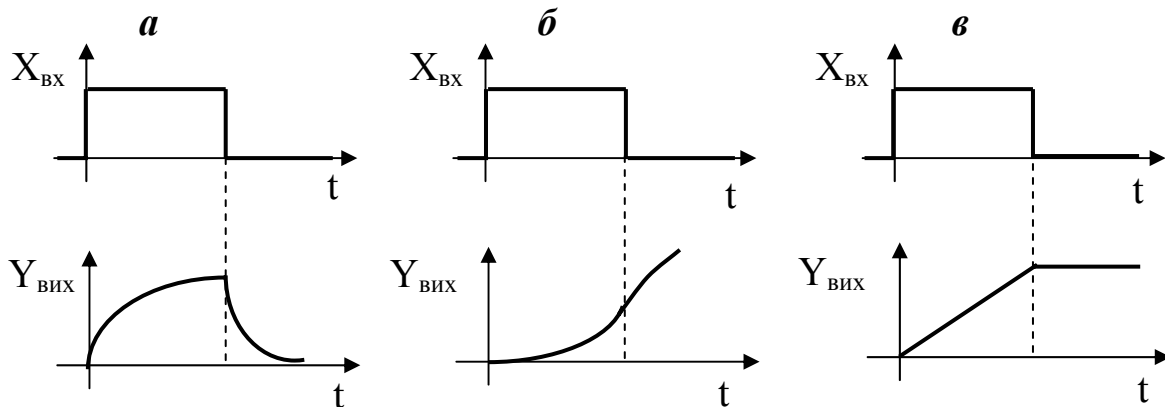


Рис. 4.2. Перехідні функції стійкого (а), нестійкого (б) і нейтрального (в) об'єктів регулювання.

Стійкі об'єкти часто називають об'єктами, що володіють властивостями *самовирівнювання*. Тільки для даних об'єктів мають значення статичні характеристики, тому вони ще називаються – *статичні* об'єкти.

Нестійкі об'єкти характеризуються тим, що після припинення дії зовнішнього впливу вихідна величина ($Y_{\text{вих}}$) продовжує змінюватися (рис. 4.2 б). Ці об'єкти не володіють властивостями *самовирівнювання* і вельми складні для автоматичного регулювання.

У нейтральних об'єктах або об'єктах, які частково володіють властивістю *самовирівнювання*, вихідна величина після зняття збурення набуває нового сталого значення (рис. 4.2 в). Ці об'єкти частіше називають *астатичними*.

Статичні і динамічні характеристики об'єктів регулювання можна отримати всіма способами, розглянутими в розділі 3. Розглянемо докладніше способи отримання характеристик статичних і астатичних об'єктів шляхом обробки їх експериментальних кривих розгону. Цей спосіб найбільш прийнятний, оскільки експериментально знята крива розгону несе інформацію про всі особливості конкретного промислового об'єкта, а у разі реєстрації кривої за допомогою існуючої системи контролю вихідного параметра у характеристику об'єкта увійдуть і динамічні властивості системи вимірювання.

Статичні об'єкти. На рис. 4.3 подано криві розгону статичних об'єктів, отримані експериментально при ступінчастому збуренні ΔX з боку основного каналу керування. Поставлено завдання – визначити передавальні функції об'єктів.

Розглянемо об'єкт з найбільш простою кривою розгону, показаний на рис. 4.3 а. Вигляд кривої $Y(t)$ свідчить, що об'єкт представлений двома типовими ланками – інерційною ланкою першого порядку і транспортного запізнення, включеними послідовно. Зазначимо, що в промислових об'єктах запізнення пояснюється в основному наявністю в них декількох розділених одна від одної ємкостей, в яких акумулюється енергія або речовина, а також розподілених ємкостей.

Передавальна функція даного об'єкта може мати вигляд:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{Tp + 1} \quad (4.1)$$

де k , T і τ – відповідно коефіцієнт передачі, стала часу і транспортне запізнення об'єкта відповідно.

Ці сталі визначаються таким чином. Коефіцієнт передачі – це відношення приросту вихідної величини при новому сталому значенні до величини стрибка з боку каналу керування, тобто $k = \Delta Y / \Delta X$, при цьому коефіцієнт має розмірність – [відношення одиниці вимірювання вихідної величини до одиниці вимірювання вхідної].

Тимчасові параметри визначаються графічно, як це показано на рисунку (а). Тут точка "А" – точка перетину дотичної

перехідної функції (в точці максимальної швидкості її зміни) і лінії нового сталого значення.



Рис. 4.3. Криві розгону статичних об'єктів і їх графічна обробка.

На рисунках (4.3 а і 4.3 б) показана крива розгону, яка найбільш характерна для технологічних об'єктів, у тому числі і збагачувальних апаратів. Тут можливі два шляхи апроксимації об'єкта простими типовими ланками. У першому випадку об'єкт можна представити двома ланками, у другому – трьома.

Зрозуміло, що зі спрощенням математичного опису меншає число констант, що визначаються дослідним шляхом, але при цьому ростуть похибки математичного опису. Тому потрібно знайти компромісне рішення між простотою і точністю.

Розглянемо спрощений варіант апроксимації об'єкта.

Представимо передавальну функцію як послідовне з'єднання двох ланок – транспортного запізнення і аперіодичного першого порядку, що відповідає виразу (4.1).

Визначення тимчасових констант рівняння тут дещо відрізняється. Дотична проводиться в точці перегину "Б" кривої (рис. 4.3. б). Визначення параметрів " τ " і "Т" зрозуміле з рисунка.

Більш точне математичне представлення кривої розгону має місце при апроксимації об'єкта двома ланками – транспортним запізненням і аперіодичною ланкою другого порядку, що відповідає двоємнісному об'єкту з транспортним запізненням:

$$W(p) = \frac{k e^{-p\tau}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Для визначення постійних часу T_1 і T_2 необхідно як і раніше провести дотичну до кривої розгону в точці її перегину, виміряти відрізки "а" і "b", як показано на (рис. 4.3 в), і обчислити відношення b/a . Потім використовують графік для визначення T_1 і T_2 (рис. 4.4) [3]. На ньому проводять пряму (штрихова лінія) через точки М і N з координатами (0, b/a) і (b/a , 0).

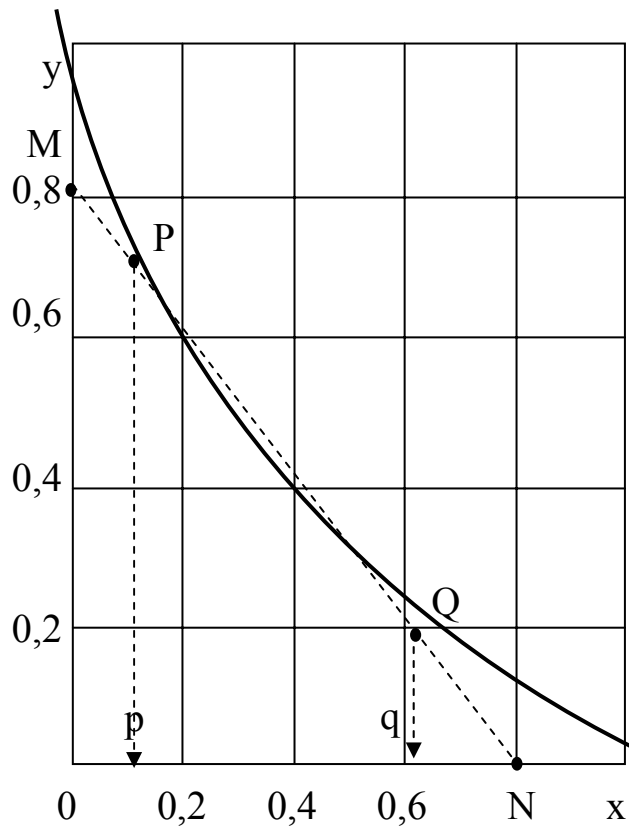


Рис. 4.4. Графіки для визначення T_1 і T_2 двоємнісного об'єкта.

Абсциса (q) точки перетину кривої і штрихової лінії (Q) дорівнює T_1/a , абсциса (p) точки (P) дорівнює T_2/a . З цих співвідношень визначається значення T_1 і T_2 . На рисунку виконана побудова для прикладу, в якому за результатами обробки кривої розгону $a=100$ с, $v=80$ с. За цих умов знаходимо: $v/a = 0.8$, $T_1/a = 0.62$, $T_2/a = 0.12$. Тоді $T_1=61$ с, $T_2= 12$ с.

Якщо крива розгону характеризується коливаннями в області сталого значення, то передавальна функція включає послідовне з'єднання коливальної ланки (3.15) і ланки транспортного запізнення (якщо воно присутнє).

Існують допоміжні графіки [3], що дозволяють визначити тимчасові сталі для даного об'єкта і коефіцієнт загасання.

Астатичні об'єкти. Крива розгону типового реального астатичного об'єкта показана на рис. 4.5.

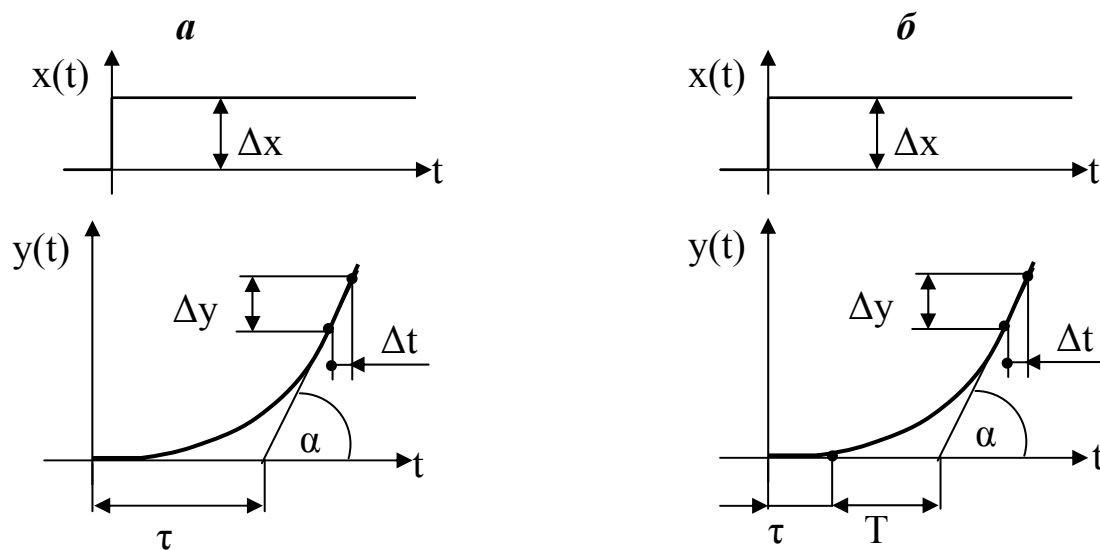


Рис. 4.5. Варіанти обробки кривої розгону астатичного об'єкта.

Передавальна функція такого об'єкта, представлена двома послідовно включеними ланками (реальної інтегрувальної і транспортного запізнення), має вигляд:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{p(Tp + 1)} \quad (4.3)$$

Визначити параметри виразу (4.3) можна декількома способами. Нестійкий об'єкт характеризується одним сталим параметром – швидкістю зміни вихідної величини.

Тому за коефіцієнт передачі об'єкта приймається відношення швидкості зміни y (при $t \rightarrow \infty$) до величини збурення Δx . Швидкість зміни вихідного параметра оцінюється величиною $\operatorname{tg}\alpha$, тоді з урахуванням позначень на рис. 4.5 а маємо:

$$\bar{k} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\Delta x} = \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x}, \quad (4.4)$$

де \bar{k} називають умовним коефіцієнтом передачі.

Постійна часу (умовна) приймається рівною:

$$T = 1/\bar{k} \quad (4.5)$$

Величина запізнення об'єкта (τ) визначається, як показано на рис. 4.5 а.

Другий підхід до обробки кривої розгону, запропонований [3], показано на рис. 4.5 б.

Параметри τ і T знаходять графічно, а умовний коефіцієнт передачі об'єкта розраховують за виразом:

$$\bar{k} = T \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x} \quad (4.6)$$

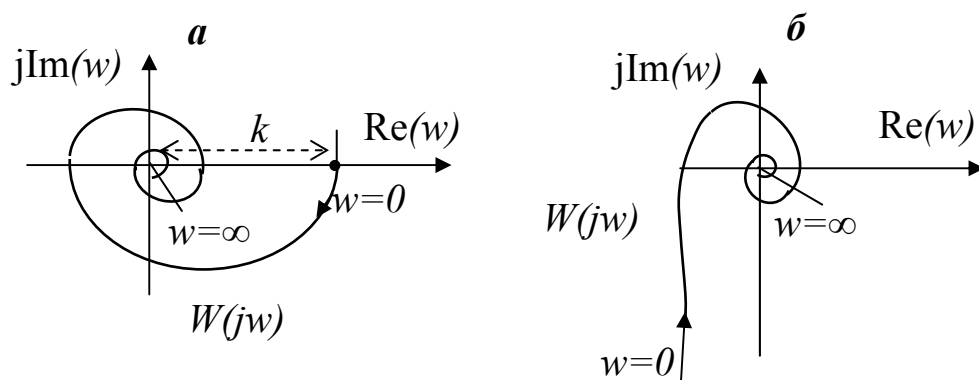


Рис. 4.6. АФЧХ статичного (а) і астатичного об'єкта (б).

Підводячи підсумки щодо властивостей статичних і астатичних об'єктів, потрібно звернути увагу на принципово різні амплітудно-фазово-частотні їх характеристики (рис. 4.6).

Годограф АФЧХ астатичного об'єкта з транспортним запізненням при $\omega=0$ рівний нескінченності, що негативно позначається на стійкості всієї системи регулювання, яка містить даний об'єкт. Нижче ми розглянемо це докладніше.

Характерною особливістю об'єктів регулювання є розподіл їх параметрів у просторі. Інколи він незначний, тоді можна припустити, що параметри об'єкта зосереджені в одній точці – це об'єкти із зосередженими параметрами. У протилежному випадку виділяють об'єкти із розподіленими параметрами. Для зосереджених об'єктів змінні, що описують поведінку об'єкта, змінюються тільки в часі. Для об'єкта з розподіленими параметрами – і у часі, і у просторі. Прикладом об'єктів з розподіленими параметрами може бути довга лінія електропередач, магістральні газо-, нафто- та продуктопроводи тощо. У збагаченні корисних копалин об'єкти головним чином можна уявляти такими, що мають зосереджені параметри.

Виключення становлять ті випадки, коли довжина хвилі гармонік збурення менша або співвимірна з геометричними характеристиками збагачувальної машини. Крім того, машини треба розглядати як об'єкти з розподіленими параметрами, коли треба враховувати розподіл характеристик по довжині об'єкта.

Контрольні запитання:

1. Дайте характеристику об'єкта з двома вихідними параметрами.
2. Розкрийте класифікацію об'єктів за динамічними властивостями.
3. Визначте за кривою розгону статичного об'єкта передавальну функцію.
4. Розкрийте спосіб обробки кривої розгону астатичного об'єкта.
5. Охарактеризуйте АФЧХ статичного і астатичного об'єкта.

Література до теми: [2], [6], [8], [9-10].

5. АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ І ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

Поняття регулятора. Класифікація. Уявлення про закони регулювання. Динамічні характеристики регуляторів і їх аналітичне та графічне подання. Структурні схеми регуляторів. Формування законів регулювання. Поняття перехідного процесу в САР. Показники якості перехідного процесу – динамічне і залишкове відхилення, квадратичний критерій якості, час регулювання. Типові перехідні процеси. Динамічний коефіцієнт регулювання. Вибір закону регулювання.

5.1. Класифікація регуляторів. Закони регулювання

Одним з основних елементів, які входять до системи регулювання, є автоматичний регулятор – пристрій, що змінює або стабілізує вихідну величину об'єкта регулювання за заданим алгоритмом шляхом впливу на його вхідну величину.

Класифікація регуляторів може здійснюватися за різними ознаками. За способом дії розрізняють регулятори *прямої і непрямой дії*. До регуляторів прямої дії відносять такі регулятори, у яких зусилля, необхідне для переміщення регулюючого органу, виникає за рахунок зміни вихідного параметра без підведення додаткової енергії. Зрозуміло, що в цьому випадку датчик (чутливий елемент) є одночасно і виконавчим механізмом.

На практиці ширшого застосування набули регулятори непрямой дії. Ці регулятори класифікуються за видом джерела енергії, що використовується для переміщення виконавчого механізму: *електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані*.

Крім того, регулятори класифікуються на *релейні, безперервні та імпульсні*. Релейні регулятори називають ще позиційними. Вони не забезпечують якісного регулювання і застосовуються рідко, в основному на простих об'єктах, коли виконується умова $\tau_{об}/T_{об} < 0.2$.

Регулятори поділяють також на *екстремальні і стабілізаційні*. Екстремальні регулятори можуть використовуватися на

об'єктах, що характеризуються екстремальною статичною характеристикою, положення якої в координатному просторі в залежності від зовнішніх впливів дрейфує у часі.

Найбільше поширення отримали стабілізуючі регулятори (рис. 5.1).

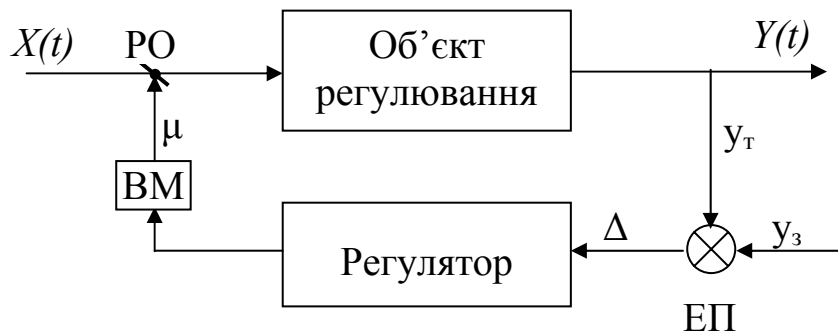


Рис. 5.1. Структурна схема стабілізуючої САР.

На схемі визначено: μ – вплив регулятора на регулюючий орган (РО) за допомогою виконавчого механізму (ВМ); Δ – сигнал розузгодження, виділений на елементі порівняння (ЕП) і рівний векторній різниці між поточним (y_T) і заданим ($y_з$) значеннями регульованої величини.

Залежність керуючого сигналу, що виробляється регулятором, від сигналу розузгодження у часі визначається *законом регулювання*, в загальному вигляді ця залежність може бути подана:

$$\mu = k\varphi(\Delta, t) \quad (5.1)$$

У залежності від виду функції (5.1) стабілізуючі регулятори класифікуються на *інтегральні (І)*, *пропорційні (П)*, *пропорційно-інтегральні (ПІ)*, *пропорційно-диференціальні (ПД)* і *пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД)*. Закон регулювання формується за допомогою зворотних зв'язків. З урахуванням динамічних властивостей об'єкта керування він визначає вид і якість перехідного процесу в САР.

Розглянемо детальніше закони регулювання і динамічні характеристики відповідних регуляторів.

Інтегральний (І) закон регулювання. Регулятори, що реалізують даний закон, часто називають астатичними, або

регуляторами без зворотного зв'язку. У динамічному відношенні І-закон регулювання подібний інтегральній ланці, рівняння регулятора і передавальна функція мають вигляд:

$$\mu = \frac{k_p}{T_i} \int_0^t \Delta dt,$$

або в диференціальній формі:

$$T_i \frac{d\mu}{dt} = k_p \Delta, \quad (5.2)$$

де k_p – статичний коефіцієнт передачі регулятора; T_i – час інтегрування.

Із (5.2) випливає, що швидкість руху регулюючого органа для даного закону пропорційна величині розузгодження. На рис. 5.2 а показана перехідна функція І-регулятора. Ці регулятори характеризуються відсутністю в стані рівноваги однозначної залежності між значенням регульованого параметра і положенням регулюючого органу, що обумовлено відсутністю зворотного зв'язку.

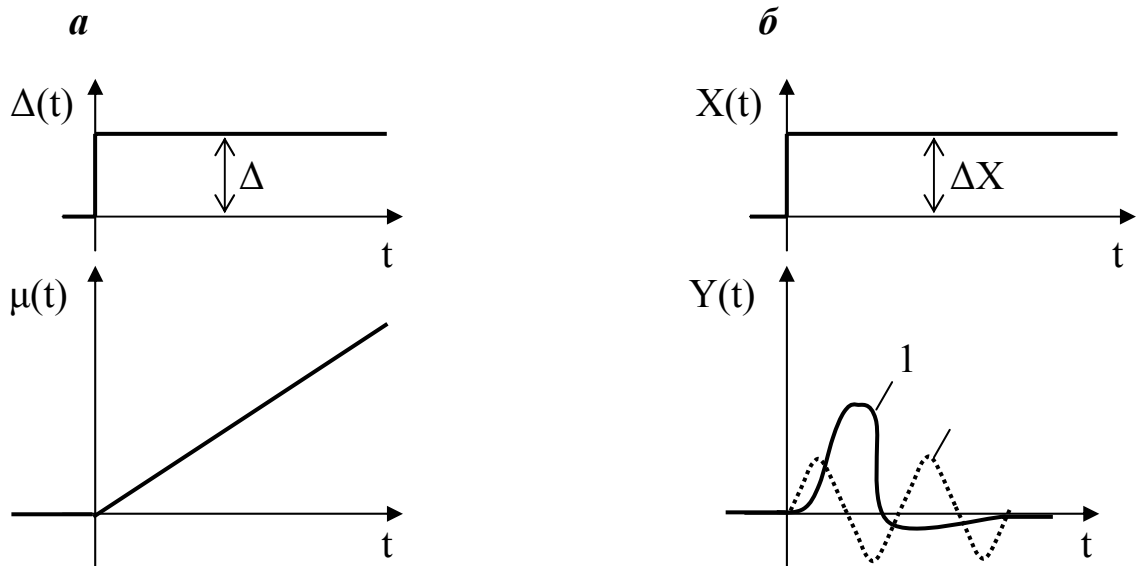


Рис. 5.2. Перехідна функція І-регулятора (а) і перехідні процеси САР з різними об'єктами (б).

Регулятори, які працюють за даним законом, завжди приводять регульований параметр до заданого значення, якщо об'єкт володіє властивістю самовирівнювання (рис. 5.2 б, крива 1). Однак тривалість перехідного процесу досить значна.

Застосування даного закону регулювання при керуванні астатичним об'єктом, що не володіє властивістю самовирівнювання, приводить до перехідного процесу у вигляді незатухаючих коливань вихідного параметра (крива 2, рис. 5.2), причому амплітуда коливань тим більша, чим більше збурення на об'єкт з боку навантаження. Таким чином, застосування регуляторів без зворотного зв'язку в системах з астатичним об'єктом не рекомендується.

Пропорційний (П) закон регулювання. Регулятори, що реалізують даний закон, ще називають регуляторами з жорстким зворотним зв'язком, або статичними.

Рівняння П-регулятора і передавальна функція мають вигляд:

$$\mu = k_p \Delta, \quad W(p) = k_p \quad (5.3)$$

Коефіцієнт передачі регулятора (k_p) чисельно рівний переміщенню регулюючого органу, яке здійснює регулятор при відхиленні вихідної величини на одиницю її вимірювання.

Перехідна функція П-регулятора і типовий перехідний процес показані на рис. 5.3.

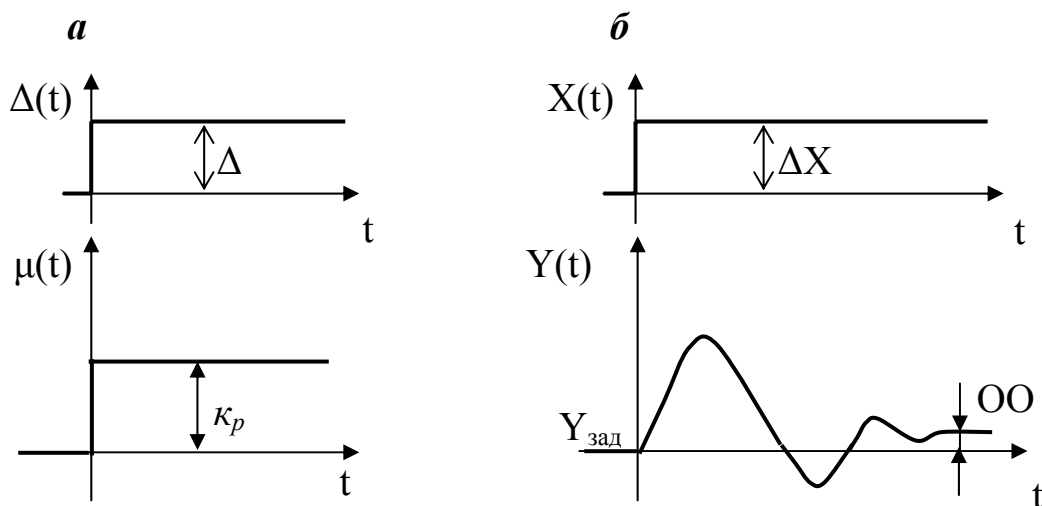


Рис. 5.3. Перехідна функція П-регулятора (а) і вид перехідного процесу в системі регулювання (б).

Це забезпечує жорсткий зворотний зв'язок. Регулюючий орган рухається тільки при відхиленні вихідного параметра від заданого значення. Регулятори, що реалізують П-закон, харак-

теризуються тим, що в сталому режимі існує певна залежність між положенням регулюючого органу і значенням регульованого параметра.

Внаслідок жорсткого зворотного зв'язку П-регулятор не має можливості привести до заданого значення регульований параметр при зміні навантаження на об'єкт. Це пояснюється тим, що переміщення регулюючого органу в нове положення, відповідне новому навантаженню, може бути зроблене тільки за рахунок відхилення регульованої величини. Перехідний процес в цьому випадку (рис. 5.3 б) характеризується залишковим відхиленням (відрізок ОО).

Це явище отримало назву *залишкової нерівномірності* регулювання, вона оцінюється *мірою нерівномірності* (δ), що дорівнює $\delta = 1/k_p = \Delta/\mu$. Таким чином, міра нерівномірності характеризується величиною відхилення регульованого параметра на одиницю переміщення регулюючого органу.

Пропорційні регулятори забезпечують стійку роботу практично всіх промислових об'єктів.

Пропорційно-інтегральний (ПІ) закон регулювання. Регулятори, які працюють за даним законом, виконують переміщення регулюючого органу пропорційно сумі відхилення та інтеграла від відхилення регульованої величини, тобто здійснюють П- та І- вплив:

$$\mu = k_p \left(\Delta + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta dt \right), \quad (5.4)$$

або в диференціальній формі:

$$\frac{d\mu}{dt} = k_p \left(\frac{d\Delta}{dt} + \frac{1}{T_u} \Delta \right). \quad (5.5)$$

Із виразу (5.5) випливає, що швидкість переміщення регулюючого органу пропорційна величині відхилення і швидкості зміни регульованої величини. У динамічному відношенні ПІ-регулятор подібний системі з двох паралельно включених регуляторів: пропорційного з коефіцієнтом передачі k_p та інтегрального з коефіцієнтом передачі $k_{p2} = k_p/T_i$.

Тут час інтегрування (T_i) іноді називають часом подвоєння – це час, за який інтегральна частина регулятора подвоює ефект пропорційної частини (k_p , рис. 5.4 а).

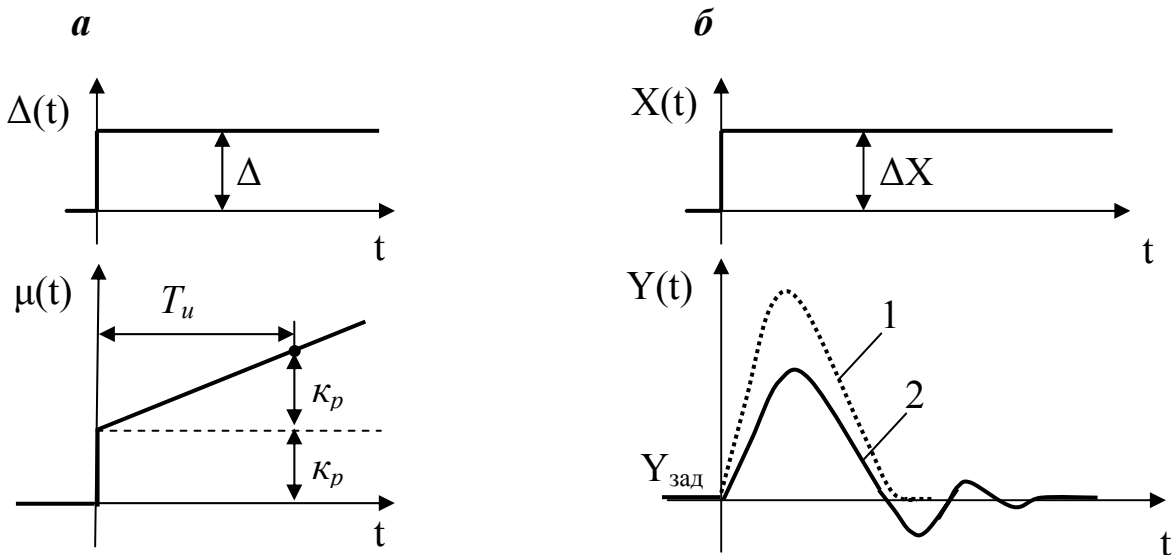


Рис. 5.4. Перехідна функція ПІ-регулятора (а) і вид перехідних процесів у системах регулювання (б).

При безмежному збільшенні часу подвоєння ПІ-регулятор перетворюється в П-регулятор.

Якщо спрямувати k_p і T_i до нуля так, щоб їх відношення було постійним, отримаємо І-регулятор з коефіцієнтом передачі k_{p2} .

Реалізовується ПІ-закон за допомогою гнучкого зворотного зв'язку.

Передавальна функція закону має вигляд:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_u p} = k_p \frac{T_u p + 1}{T_u p} \quad (5.6)$$

Наявність гнучкого зворотного зв'язку виключає залишкову нерівномірність у перехідному процесі (рис. 5.4 б).

У залежності від динамічних властивостей об'єкта регулювання і налаштувань параметрів регулятора перехідний процес може бути аперіодичним (крива 1) або затухаючим коливальним (крива 2). У першому випадку зростає амплітуда перерегулювання, але скорочується тривалість перехідного процесу, у другому – картина зворотна.

Пропорційно-диференціальний (ПД) закон регулювання. Регулятор, що реалізує даний закон регулювання, можна зобразити у вигляді системи, що містить два паралельно працюючих типових ланки: пропорційної та ідеальної диференціюючої. Тоді рівняння ПД-закону має вигляд:

$$\mu = k_p \Delta + T_n \frac{d\Delta}{dt}, \quad (5.7)$$

де T_n - час передування.

Позитивною особливістю даного закону є те, що регулювання ведеться з урахуванням як величини відхилення регульованого параметра, так і швидкості його зміни. Чим крутіший фронт відхилення вихідної величини, тим на більшу величину переміщається робочий орган (рис. 5.5 а). Як тільки припиняється зміна регульованої величини, регулятор починає відпрацьовувати пропорційну частину. Ефект передування значно підвищує якість перехідного процесу.

Передавальна функція ПД-закону регулювання має вигляд:

$$W(p) = k_p + k_p T_n p = k_p (1 + T_n p) \quad (5.8)$$

З виразів (5.7 і 5.8) випливає, що при $T_n = 0$ регулятор перетворюється в П-регулятор. Підкреслимо, що регулятор, який враховує тільки першу похідну величини відхилення регульованого параметра, неприйнятний, оскільки при швидкості зміни параметра, що дорівнює нулю, він може мати будь-яке стає значення, значно відмінне від заданого. Тому Д-регулятор "в чистому вигляді" не існує.

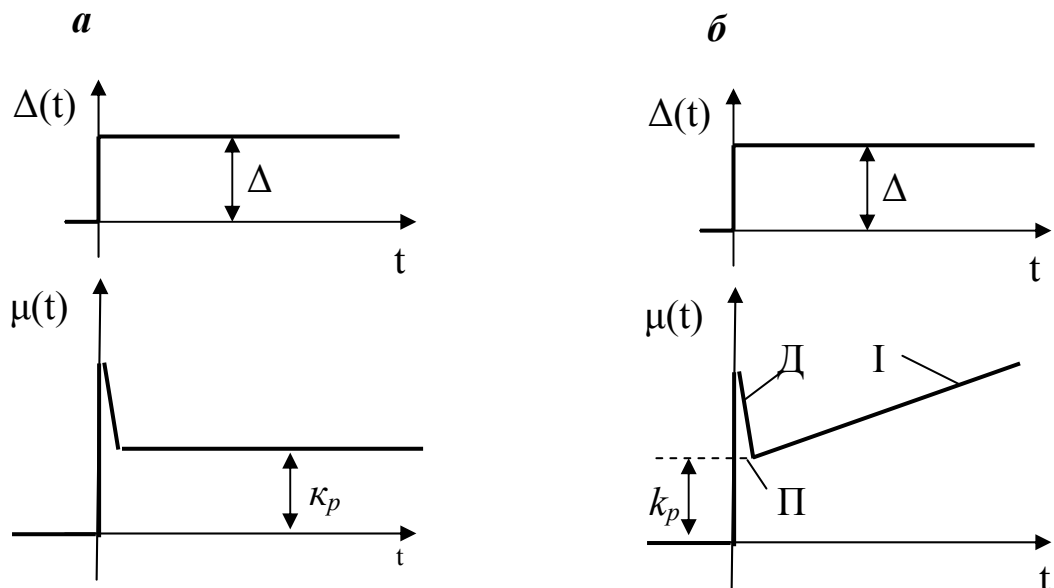


Рис. 5.5. Перехідна функція ПД (а) та ПІД- регулятора (б).

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон регулювання. Найбільш складний алгоритм, що включає вплив усіх розглянутих вище законів. Очевидно, що рівняння ПІД-закону мають вигляд:

$$\mu = k_p \left(\Delta + \frac{1}{T_u} \int_0^t \frac{d\Delta}{dt} + T_n \frac{d\Delta}{dt} \right) \quad (5.9)$$

Перейшовши до операторної форми, отримаємо передавальну функцію:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_u p} + k_p T_n p = k_p \left(1 + \frac{1}{T_u p} + T_n p \right) \quad (5.9a)$$

Реалізація цього закону пов'язана із застосуванням пружного зворотного зв'язку.

На рис. 5.5 б подана перехідна функція ПІД-закону, де виділено області впливу складовими П, І і Д закону.

Регулятори з передуванням значно поліпшують якість регулювання, особливо якщо об'єкт володіє великим запізненням та інерційністю. Вид перехідного процесу відповідає кривим, показаним на рис. 5.4 б.

На закінчення потрібно зазначити, що настроювальні параметри k_p , T_i і T_n регуляторів зумовлюють вид і якість перехідного процесу системи регулювання, як і динамічні властивості об'єкта. Тому їх вибір є важливим завданням проектування і налагодження САР.

5.2. Формування законів регулювання

Раніше зазначалося, що закон регулювання визначається видом зворотного зв'язку або його відсутністю. Розглянемо це питання детальніше.

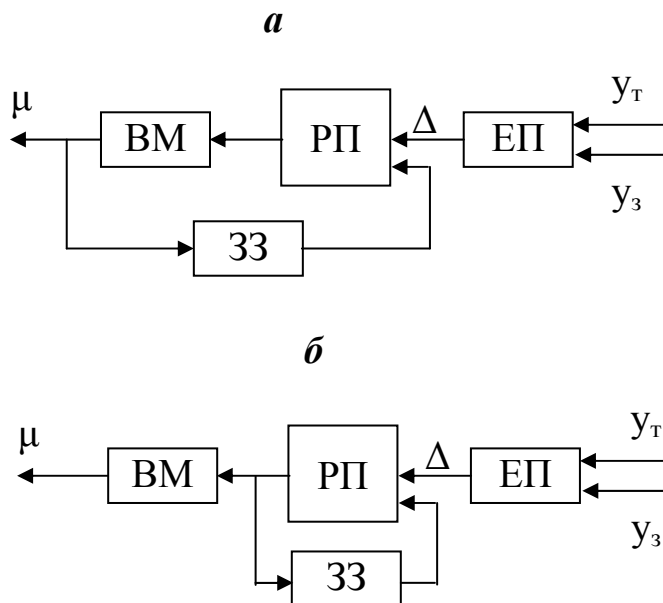


Рис. 5.6. Структурні схеми регуляторів.

На рис. 5.6 показано варіанти структурних схем регуляторів, які відрізняються за способом формування сигналу зворотного зв'язку.

Тут позначено елементи: ВМ – виконавчий механізм, РП – регулюючий пристрій, ЕП – елемент порівняння, ЗЗ – ланка зворотного зв'язку.

Зі схеми (а), що являє собою зустрічно-паралельне включення ланок, у відповідності з (3.25) маємо:

$$W(p)_p = \frac{W(p)_{pn} \cdot W(p)_{\text{вм}}}{1 + W(p)_{pn} \cdot W(p)_{\text{вм}} \cdot W(p)_{\text{зз}}} = \frac{1}{\frac{1}{W(p)_{pn} \cdot W(p)_{\text{вм}}} + W(p)_{\text{зз}}}, \quad (5.10)$$

тут $W(p)_p$ – передавальна функція регулятора.

Враховуючи, що як регулюючий пристрій використовується підсилювач з великим коефіцієнтом посилення, першим доданком знаменника у виразі (5.10) можна знехтувати. Тоді:

$$W(p)_p \approx \frac{1}{W(p)_{\text{зз}}} \quad (5.11)$$

З виразу (5.11) можна отримати передавальну функцію зворотного зв'язку, включеного за схемою (а), який забезпечує необхідний закон регулювання. Припустимо, що необхідний ПІ-закон регулювання, тоді, враховуючи передавальну функцію цього закону (5.3), отримуємо передавальну функцію ланки зворотного зв'язку:

$$W(p)_{\text{зз}} \approx \frac{1}{W(p)_p} = \frac{T_i p}{k_p (T_i p + 1)} \quad (5.12)$$

Вираз (5.12) відповідає реальній диференціюючій ланці (3.22), в якій потрібно прийняти сталу часу, що дорівнює часу інтегрування регулятора, а коефіцієнт передачі ланки – зворотному коефіцієнту передачі регулятора. Цей зворотний зв'язок реалізується за допомогою РС-елементів. Такий зв'язок іноді називають гнучким зворотним зв'язком.

Розглянемо другу структурну схему регулятора (рис. 5.6 б).

Передавальна функція регулятора:

$$W(p)_p = W(p)_{\text{вм}} \cdot \frac{1}{W(p)_{\text{зз}}} \quad (5.13)$$

Розглядаючи виконавчий механізм як інтегрувальну ланку з передавальною функцією $W(p) = k_{\text{вм}}/p$ і з урахуванням передавальної функції ПІ-закону регулювання, отримуємо передавальну функцію зворотного зв'язку:

$$W(p)_{\text{зз}} = \frac{W(p)_{\text{вм}}}{W(p)_p} = \frac{k_{\text{вм}} T_i}{k_p (T_i p + 1)} \quad (5.14)$$

Останній вираз приводиться до передавальної функції інерційної ланки першого порядку (3.19), якщо прийняти його коефіцієнт передачі ($k_{\text{зз}}$), рівним $k_{\text{зз}} = k_{\text{вм}} T_i / k_p$, а сталу часу ланки рівною часу інтегрування регулятора. Таким чином, ПІ-закон регулятора для другої структурної схеми формується зворотним зв'язком у вигляді аперіодичної ланки першого порядку.

5.3. Якість регулювання. Вибір закону регулювання

Вид перехідного процесу при регулюванні, тобто характер повернення регульованої величини до заданого значення після деякого збурення (з боку навантаження або завдання), визначає *якість регулювання*. Основними показниками якості регулювання є наступні.

Максимальне динамічне відхилення. Це найважливіший показник якості перехідного процесу, являє собою максимальну амплітуду відхилення вихідного параметра (y_1 , рис. 5.7). Найбільшим відхиленням у збіжному перехідному процесі буде перше відхилення, яке безпосередньо іде за збуренням.

Залишкове відхилення. Цей показник називають ще залишковою нерівномірністю. Характеризує величину відхилення регульованої величини від заданого значення по закінченні перехідного процесу. Даний показник оцінюється мірою нерівномірності (δ), він розглядався в лекції 5, рис. 5.3 б. Залишкове відхилення характерне при застосуванні ПІ-регулятора. Залежить від навантаження на об'єкт, його динамічних властивостей і настроювальних параметрів регулятора.

Час регулювання. Це проміжок часу t_p (рис. 5.7) від моменту надходження на вхід ступінчастого впливу (завдання, збурення) до моменту, коли відхилення регульованої величини від заданого значення стає меншим деякого відносно малого числа δ (зона нечутливості регулятора).

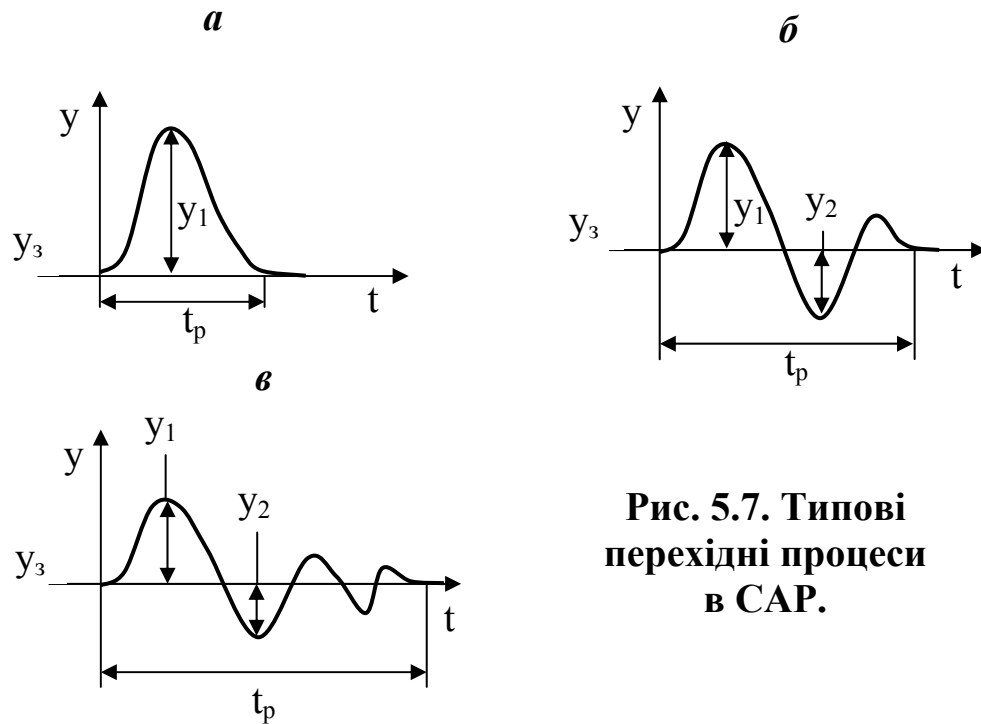


Рис. 5.7. Типові перехідні процеси в САР.

Прийнято вважати, що перехідний процес закінчиться в той момент часу, починаючи з якого, відхилення регульованої величини відрізняється від сталого значення не більш ніж на 5 %.

Квадратичний інтегральний критерій якості. Характеризує сумарну площу, обмежену кривою перехідного процесу:

$$I^2 = \int_0^{\infty} y^2 dt \quad (5.15)$$

Типові перехідні процеси. Характер перехідного процесу, а отже, і якість регулювання визначаються динамічними властивостями об'єкта керування, вибраним законом регулювання і настроювальними параметрами регулятора. Рациональний характер перехідного процесу поняття відносне. Необхідний вид перехідного процесу багато в чому зумовлюється вимогами технології керованого об'єкта. У одних випадках важливою вимогою є мінімальний час регулювання, в інших - мінімально можливе

динамічне відхилення. Однак при рівнозначних збуреннях зменшення тривалості регулювання неодмінно приведе до більшого динамічного відхилення.

Для вибору конкретного виду перехідного процесу (в залежності від технологічних вимог) запропоновано три їх типи: аперіодичний з мінімальним часом регулювання (рис. 5.7 а), процес з 20 % перерегулюванням (рис. 5.7 б) і процес з мінімальною квадратичною площею відхилення (рис. 5.7 в).

При виборі типу перехідного процесу треба керуватися наступними рекомендаціями:

1. Аперіодичний процес приймають у тих випадках, коли перерегулювання не допускається, потрібний мінімальний час регулювання, а динамічне відхилення може бути досить великим.
2. Процес з 20 % перерегулюванням доцільний, коли перерегулювання допускається, але висуваються більш жорсткі вимоги до динамічного відхилення регульованої величини. Тут потрібно врахувати, що мінімальний час першого напівперіоду є перевагою, якщо інша частина перехідного процесу, для якої відхилення від заданого значення невеликі, менш істотна.
3. Процес з мінімальною квадратичною площею відхилення потрібно приймати у випадку, якщо об'єкт регулювання вимагає мінімальної величини динамічного відхилення. Однак у цьому випадку має місце найбільше перерегулювання.

Виконаємо аналіз перехідних процесів в САР з І- і П-регулятором та астатичним об'єктом як найбільш складним.

На рис. 5.8 показана спрощена система регулювання рівня (Н) в технологічному апараті, де надходження рідкого продукту – Q_1 (керуючий параметр), Q_2 – споживання продукту (збурення по навантаженню). Наведений на схемі об'єкт буде астатичним, якщо забезпечити незалежність витрати (Q_2) від рівня в апараті (Н). При цьому споживання продукту може здійснюватися, наприклад, через шестерінчастий насос. Якщо ж допустити вільне витікання рідини, об'єкт буде статичним.

Як датчик рівня, наприклад, прийнятий поплавков з індуктивним датчиком (ІД1), включеним у мостову схему.

Регулюючий пристрій містить схему порівняння сигналів, побудовану на двох мостах змінного струму з індуктивними

датчиками і трансформаторами, підсилювач і виконавчий механізм (ВМ) з регулюючим органом (РО).

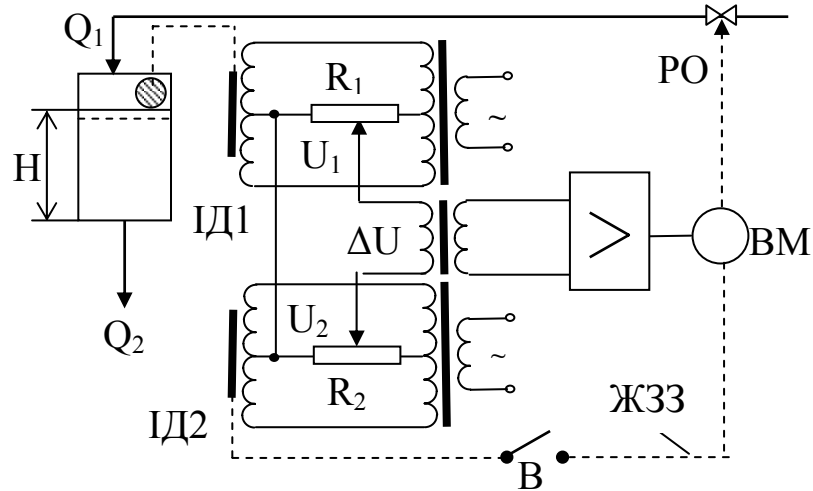


Рис. 5.8. Система регулювання рівня.

Виконавчий механізм забезпечений індуктивним датчиком положення (ІД2), який виконує роль жорсткого зворотного зв'язку (ЖЗЗ). На схемі умовно передбачене відключення зворотного зв'язку за допомогою переривника (В). Таким чином, при відключеному зворотному зв'язку регулюючий пристрій реалізує І-закон регулювання, при включеному – П-закон.

Розглянемо роботу САР з інтегральним регулятором і проаналізуємо перехідний процес (рис. 5.9 а).

Для спрощення припустимо, що існує лінійна залежність між:

- зміною рівня рідини і напругою U_T ;
- зміною положення РО і витратою рідини Q_1 ;
- зміною положення РО і напругою зворотного зв'язку $U_{ЗЗ}$.

Крім того, нехтуємо зоною нечутливості регулятора.

Припустимо, що до певного моменту часу (t_0) система регулювання перебувала в стані рівноваги, тобто надходження рідини в апарат дорівнювало споживанню ($Q_1=Q_2$), а рівень рідини в об'єкті відповідав заданому значенню (H_3).

У цей час $U_1=U_2$, на вхід підсилювача надходить сигнал розузгодження $\Delta U=0$. Для варіанта, який розглядається (І-регулятор), напруга U_1 відповідає поточному значенню рівня U_T , ($U_1=U_T$) а U_2 – заданому значенню U_3 ($U_2=U_3$). Тут резистор R_2 виконує роль задатчика.

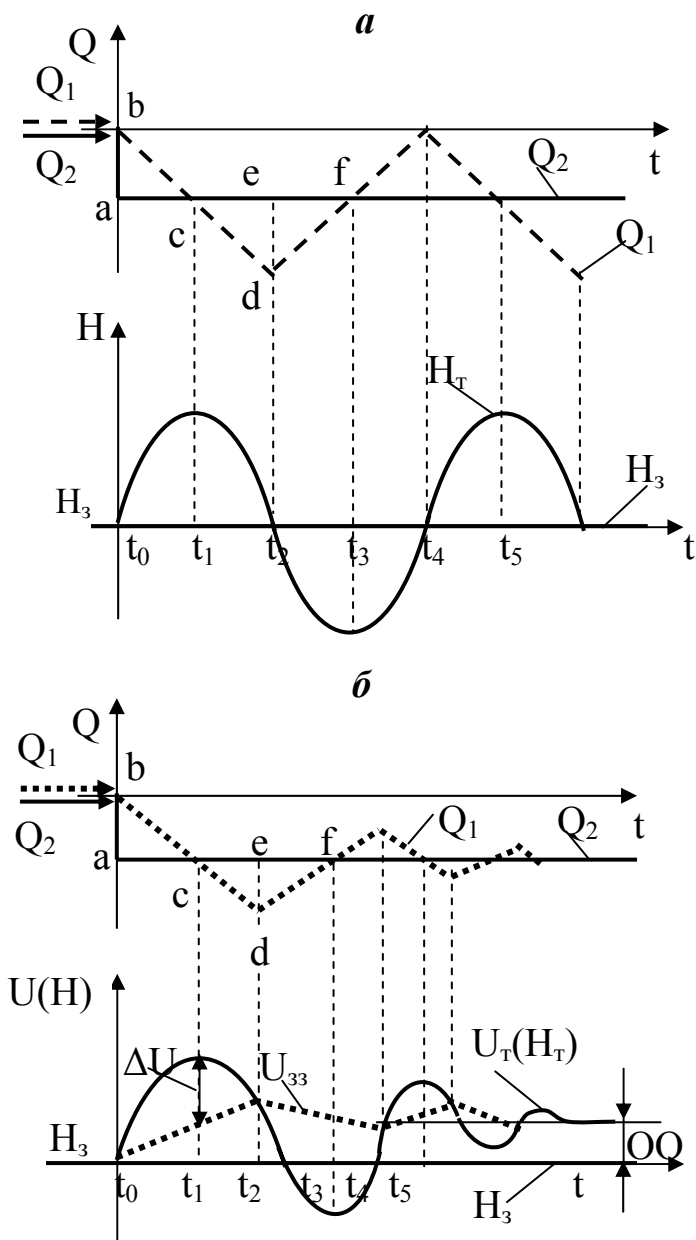


Рис. 5.9. Перехідний процес в САР з астатичним об'єктом і різними законами регулювання:
а – І-регулятор; б – ІІ-регулятор.

Швидкість підвищення H меншає в міру усунення регулятором різниці між Q_1 і Q_2 . У певний момент часу t_1 настає матеріальний баланс $Q_1 = Q_2$, зростання рівня припиняється. Однак у цей момент (t_1) рівень рідини в апараті не відповідає заданому значенню ($H_T > H_3$), отже, регулятор буде продовжувати зменшувати надходження рідини. З моменту часу t_1 матеріальний баланс порушується ($Q_1 < Q_2$), рівень рідини починає знижуватися, причому швидкість

У момент t_0 стрибкоподібно введемо збурення шляхом зменшення споживання рідини (Q_2 , суцільна лінія на рис. 5.9 а). У результаті рівень рідини почне підвищуватися ($Q_2 < Q_1$).

З підвищенням рівня переміщується плунжер індуктивного датчика ($ІД_1$), що спричиняє зміну напруги $U_1(U_T)$, яка знімається в діагоналі моста з резистора R_1 , і з'являється сигнал розузгодження ΔU на вході підсилювача. Включається виконавчий механізм, який з постійною швидкістю з допомогою РО зменшує надходження рідини в об'єкт (пунктирна лінія на рис. 5.9а). До моменту часу t_1 , поки надходження продукту більше його споживання, рівень рідини (H) в ємкості безперервно підвищується. Швидкість підвищення

зниження рівня підвищується, оскільки регулятор збільшує різницю між надходженням і споживанням рідини. У момент t_2 поточне значення рівня стає рівним заданому, що відповідає $\Delta U=0$, регулятор на мить вимикається, однак у цей момент $Q_1 < Q_2$ і рівень продовжує знижуватися. Відхилення рівня в протилежному напрямі змінить фазу сигналу розузгодження (ΔU), отже, виконавчий механізм почне обертатися в іншу сторону, збільшуючи подачу рідини. У момент часу t_3 знову $Q_1 = Q_2$, але оскільки рівень рідини у ємкості нижчий від заданого значення, регулятор продовжує збільшувати надходження рідини, і це буде продовжуватися до моменту часу t_4 . Подальший процес регулювання є повторенням описаного вище, в системі регулювання виникають незатухаючі коливання рівня відносно заданого значення.

Наявність незатухаючих коливань доводиться рівністю трикутників abc , cde і def , отже, рівністю додатної і від'ємної амплітуд коливань рівня за перший період, так само як і в подальшому.

Таким чином, використання І-регулятора з об'єктом, що не володіє властивістю самовирівнювання (астатичні об'єкти), не рекомендується.

Розглянемо другий випадок, де той же об'єкт працює з П-регулятором. Для цього підключимо жорсткий зворотний зв'язок, а напругу, що знімається з резистора R_2 , назовемо напругою зворотного зв'язку $U_2=U_{oc}$.

Графік процесу регулювання показано на рис. 5.9 б. Тут перехідний процес подано у вигляді кривої напруги (U_T), яка відповідає поточному значенню рівня. Для аналізу процесу прийемо ті ж умови, що і для першого варіанта.

Після введення збурення Q_2 на першому етапі відбуваються ті ж процеси, що і в першому випадку, тобто рівень рідини починає підніматися. Тут потрібно враховувати, що в момент включення виконавчого механізму переміщується плунжер індуктивного датчика ID_2 , змінюється U_{oc} і в схему порівняння регулятора надходить напруга зворотного зв'язку, що лінійно змінюється і знімається з резистора R_2 . У момент часу t_2 настає рівність $U_T = U_{oc}$, $\Delta U=0$. Виконавчий механізм відключається, але в цей час $Q_1 < Q_2$, отже, рівень продовжує знижуватися, оскільки $U_T < U_{oc}$ виникає сигнал розузгодження (ΔU), але з протилежною фазою. Двигун ВМ реверсує, збільшуючи надходження рідини в

ємкість і зменшуючи одночасно U_{oc} . У момент t_3 настає матеріальний баланс, але оскільки ще виконується умова $U_T < U_{oc}$, регулятор продовжує збільшувати подачу рідини до моменту t_4 , в який двигун знову реверсує. Далі повторюється циклічність дії регулятора, але процес поступово затухає. Аналітично це доводиться тим, що площа трикутника abc менша площі трикутника cde , отже, $ab > de$. Така тенденція буде продовжуватися і в подальші напівперіоди коливань.

З графіка перехідного процесу видно, що регульована величина не приводиться до заданого значення на величину залишкового відхилення – відрізок OO . Пояснимо причину цього явища. Після закінчення перехідного процесу надходження рідини в апарат поменшало (для даного прикладу) до нового значення її споживання. Але новому значенню витрати Q_1 відповідає інше положення регулюючого органу, а через жорсткий зворотний зв'язок U_{oc} також приймає інше значення. Для того щоб система регулювання прийшла до рівноважного стану, необхідна умова $\Delta U = 0$, ($U_T = U_{oc}$), що можливо тільки при новому значенні U_T , тобто новому рівні у ємкості.

Наявність залишкового відхилення є істотним недоліком регуляторів з жорстким зворотним зв'язком (П-закон регулювання).

Вибір регулятора. Під вибором регулятора потрібно розуміти вибір закону регулювання.

Для вибору закону регулювання необхідно знати:

1. Приведені параметри об'єкта регулювання $K_{об}$, $T_{об}$ і $\tau_{об}$, що визначаються за кривою розгону.
2. Максимально допустиме значення динамічного відхилення регульованої величини ($y_{вих1}$).
3. Прийнятий типовий перехідний процес.
4. Максимально можливе значення збурення на об'єкт, виражене в % ходу регулюючого органу ($\Delta x_{вх}$).
5. Допустиме залишкове відхилення.
6. Допустимий час регулювання t_p .

Максимальні (допустимі) значення параметрів визначаються вимогами технологічного процесу. Певну складність може викликати визначення максимально можливого збурення, приведенного до переміщення регулюючого органу. При відсутності

достовірної інформації з цього питання допускається прийняти $\Delta x_{\text{вх}}$ в межах 30 - 40 %.

Для вибору закону регулювання необхідно розрахувати динамічний коефіцієнт регулювання для статичних об'єктів:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} \Delta x_{\text{вх}}}; \text{ для астатичних об'єктів } \bar{R}_d = \frac{y_1 \cdot T_{об}}{\tau_{об} \Delta x_{\text{вх}}}. \quad (5.16)$$

При визначенні параметрів кривої розгону об'єкта доцільно використати обробку кривої, показану на рис. 4.3 б для статичних і 4.5 б для астатичних об'єктів. Знайти для об'єкта відношення τ/T .

За графіками (рис. 5.10) для статичних об'єктів або з табл. 5.1 для астатичних об'єктів вибирають найпростіший регулятор.

Наприклад, є статичний об'єкт регулювання з відношенням $\tau/T=0,5$. Розрахунковий динамічний коефіцієнт регулювання $R_d=0,95$. У відповідності з рис. 5.10 а цим координатам відповідає точка "А". Криві регуляторів, розташовані нижче знайденої точки на номограмі, забезпечують прийняті умови.

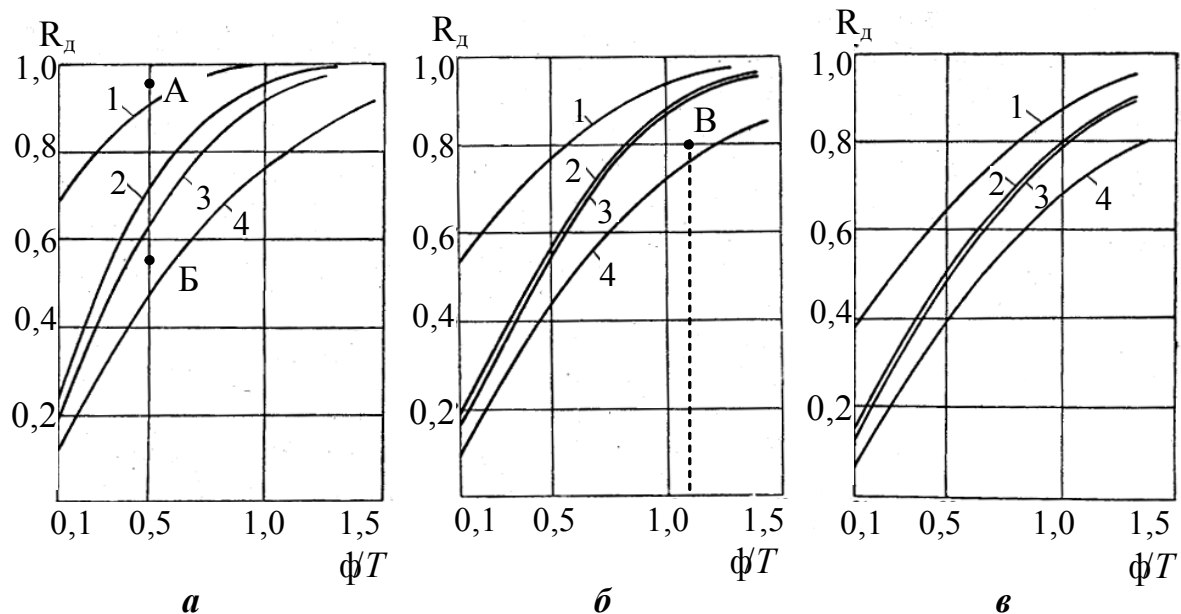


Рис. 5.10. Динамічні коефіцієнти регулювання на статичних об'єктах: а – аперіодичний перехідний процес; б – процес з 20% перерегулюванням; в – процес з мінімальною квадратичною площею; 1 – I-регулятор; 2 – II-регулятор; 3 – III-регулятор; 4 – ПІД-регулятор.

Отже, для даного об'єкта можна приймати різні закони регулювання. Якщо залишкове відхилення неприпустиме, то потрібно перейти до інших законів. Якщо, наприклад, $R_d = 0,55$, що відповідає точці "Б", – допускається застосовувати тільки ПД-закон регулювання.

Далі потрібно оцінити час регулювання при застосуванні прийнятого закону. Для цього використовують графіки, наведені на рис. 5.11, де визначають відношення t_p/τ_{33} (відносний час регулювання), звідки знаходять t_p .

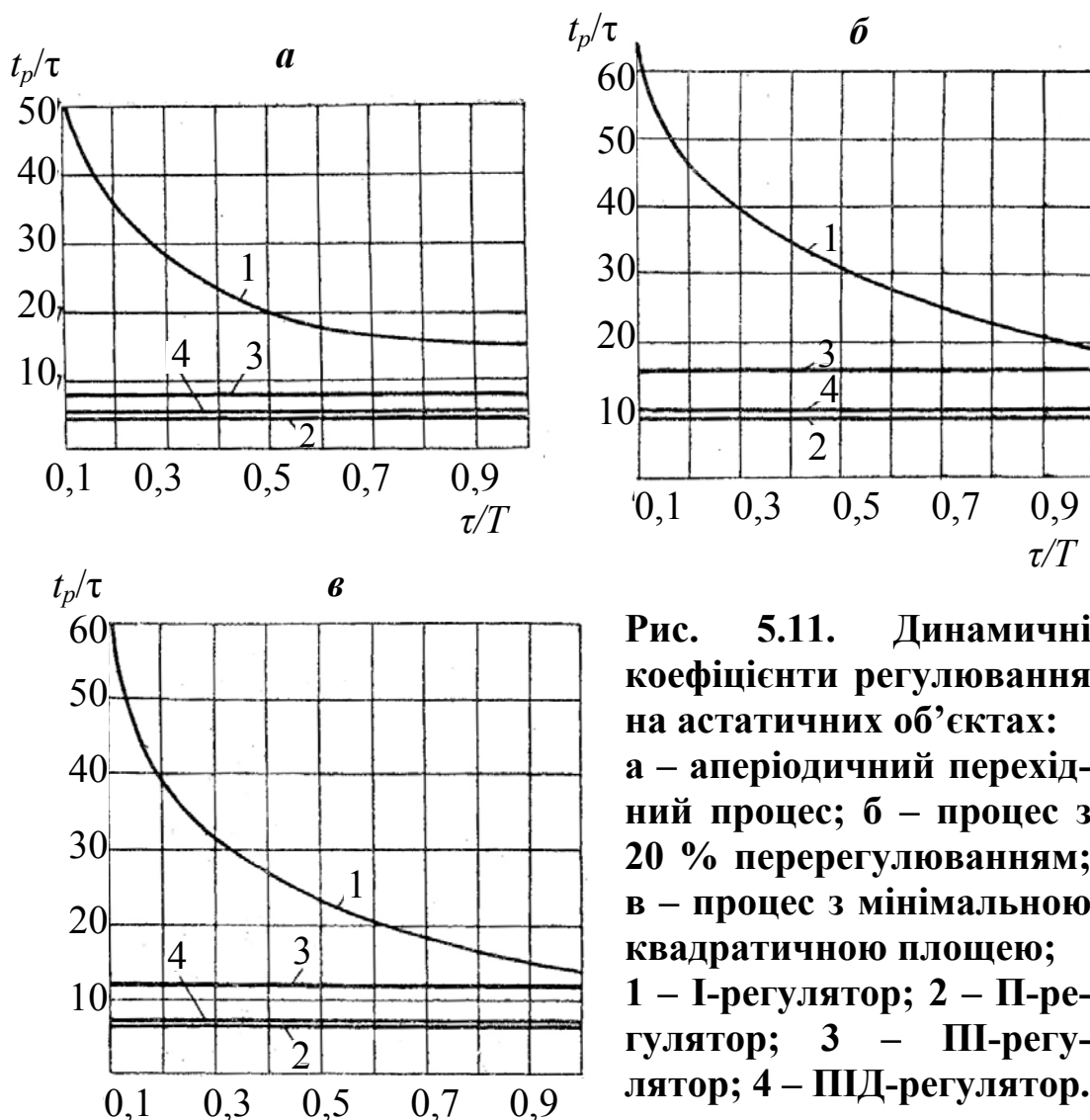


Рис. 5.11. Динамічні коефіцієнти регулювання на астатичних об'єктах: а – аперіодичний перехідний процес; б – процес з 20 % перерегулюванням; в – процес з мінімальною квадратичною площею; 1 – I-регулятор; 2 – II-регулятор; 3 – III-регулятор; 4 – ПД-регулятор.

У випадку, якщо знайдений час регулювання перевищує допустиме значення, переходять до більш складного закону регулювання.

При розгляді астатичного об'єкта регулювання можна використати таблиці 5.1 і 5.2.

Таблиця 5.1
Динамічний коефіцієнт
регулювання для
астатичних об'єктів

Закон регулювання	Типовий процес		
	аперіодичний	20% перерегулювання	з мінімальною квадратичною площею
П	2,9	1,4	-
ПІ	1,4	1,3	0,9
ПІД	1,3	1,1	0,8

Таблиця 5.2
Відносний час
регулювання t_p/τ для
астатичних об'єктів

Закон регулювання	Типовий процес		
	аперіодичний	20% перерегулювання	з мінімальною квадратичною площею
П	6	8	-
ПІ	14	16	18
ПІД	9	12	13

В даному випадку потрібно мати на увазі, що для даних об'єктів інтегральний закон регулювання застосовувати не рекомендується, оскільки така система структурно нестійка.

Контрольні запитання:

1. Наведіть класифікацію регуляторів за способом дії і за призначенням.
2. Охарактеризуйте динамічні властивості стабілізуючих інтегральних і пропорційних регуляторів.
3. Роз'ясніть поняття залишкової нерівномірності в перехідних процесах САР.
4. Наведіть динамічні показники ПІ- і ПІД-регулятора.
5. Перерахуйте показники якості регулювання і дайте їх характеристики.
6. Побудуйте перехідний процес в САР з астатичним об'єктом і ПІ-регулятором.
7. Виконайте аналіз перехідного процесу в системі з І-регулятором і астатичним об'єктом.
8. Доведіть обов'язкову наявність залишкового відхилення при використанні ПІ-регулятора.

Література до теми: [5], [6],[7], [8] , [9-10].

6. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА. СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ

*Поняття настроювальних параметрів регуляторів.
Розрахунок настройок регуляторів. Поняття
стійкості систем регулювання. Критерії стійкості
і їх перевірка.*

Вибраний закон регулювання забезпечить перехідний процес з необхідними показниками якості при певних значеннях настроювальних параметрів регулятора. Розглянемо настроювальні параметри регуляторів у відповідності із законами регулювання (розділ 5).

Для П-регулятора:

коефіцієнт передачі k_p , % ходу регулюючого органу/од. вимірювання регульованої величини.

Для І-регулятора:

коефіцієнт передачі k_p , % ходу регулюючого органу/сек·од. вимірювання регульованої величини.

Для ПІ-регулятора:

коефіцієнт передачі k_p , % ходу регулюючого органу/ од. вимірювання регульованої величини;
час інтегрування (подвоєння) T_i , сек.

Для ПІД-регулятора:

коефіцієнт передачі k_p і час інтегрування T_i те ж, що і в ПІ-регуляторі;
час передування T_n , сек.

Настроювальні параметри регуляторів можна розраховувати декількома способами, як графічними, так і аналітичними. Достатня для практичних цілей точність досягається при використанні формул, наведених у табл. 6.1 і 6.2.

Приклад. Є експериментально знята крива розгону теплового статичного об'єкта. Поставлено завдання – вибрати закон регулювання і настроювальні параметри регулятора.

Вихідні дані: перехідний процес з 20 % перерегулюванням без залишкового відхилення; максимально можливе збурення – 20 % ходу регулюючого органу; максимальне динамічне відхилення 80° С.

Допустимий час регулювання – 300 сек. Крива розгону і її обробка показані на рис. 6.1.

**Таблиця 6.1. Формули для розрахунку настройок
безперервних регуляторів при роботі зі статичними
об'єктами**

Регуля тор	Типовий процес		
	аперіодичний	20% перерегулювання	мінімальна квадратична площа
I	$K_p = \frac{1}{4,5\kappa_{об} T_{об}}$	$K_p = \frac{1}{1,7\kappa_{33} T_{33}}$	$K_p = \frac{1}{1,7\kappa_{об} \tau_{об}}$
II	$K_p = \frac{0,3}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$	$K_p = \frac{0,7}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$	$K_p = \frac{0,9}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$
III	$K_p = \frac{0,6}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 0,6T_{33}$	$K_p = \frac{0,7}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 0,7T_{33}$	$K_p = \frac{1,0}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = T_{33}$
ПД	$K_p = \frac{0,95}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 2,4\tau_{33}$ $T_n = 0,4\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,2}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$ $T_u = 2,0\tau_{об}$ $T_n = 0,4\tau_{33}$	$K_p = \frac{1,4}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 1,3\tau_{33}$ $T_n = 0,5\tau_{об}$

**Таблиця 6.2. Формули для розрахунку настройок
безперервних регуляторів при роботі з астатичними
об'єктами**

Регуля тор	Типовий процес		
	аперіодичний	20% перерегулювання	мінімальна квадратична площа
II	$K_p = \frac{0,4}{\tau_{33} / T_{33}}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau_{33} / T_{33}}$	Не застосовують
III	$K_p = \frac{0,4}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 6\tau_{33}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 3\tau_{33}$	$K_p = \frac{1,0}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 4\tau_{33}$
ПД	$K_p = \frac{0,6}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 5\tau_{33}$ $T_n = 0,2\tau_{33}$	$K_p = \frac{1,1}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 2,0\tau_{33}$ $T_n = 0,4\tau_{33}$	$K_p = \frac{1,4}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 1,6\tau_{33}$ $T_n = 0,5\tau_{33}$

Проводимо в точці перегину кривої (Б) дотичну і визначаємо часові параметри:

$T_{33} = 28 \text{ с}$; $\tau_{33} = 32 \text{ с}$; $\tau_{33}/T_{33} = 1,14$, $k_{33} = 100/20 = 5 \text{ \%}$ ходу регулюючого органу.

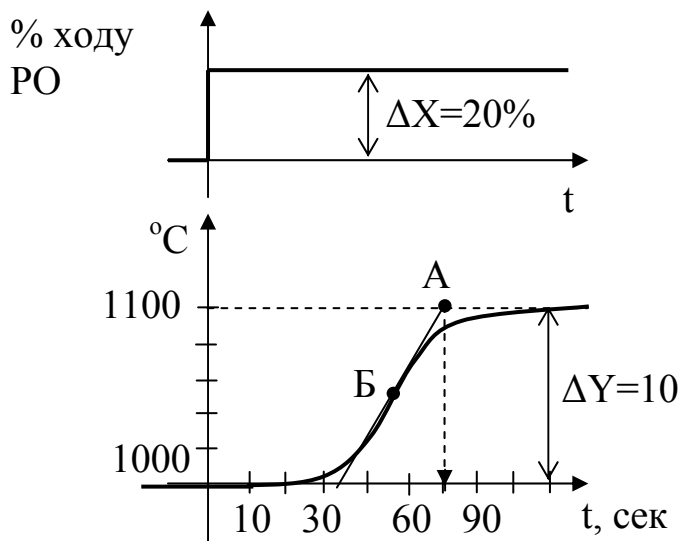


Рис 6.1. Крива розгону об'єкта (до прикладу).

За виразом (5.16) розраховуємо динамічний коефіцієнт регулювання (для статичних об'єктів):

$$R_d = \frac{80}{5 \cdot 20} = 0,8$$

Для певних параметрів знаходимо точку "В" на рис. 5.9 б. Її положення свідчить, що приймати можна тільки ПД-закон регулювання.

За номограмою (рис. 5.10 б) визна-

чаємо відношення $t_p/\tau_{33} = 8$. Звідси $t_p = 256 \text{ с}$, що задовольняє вимоги до допустимої тривалості регулювання.

Настроювальні параметри ПД-регулятора розраховуємо за формулами табл. 5.3 для перехідного процесу з 20 % перерегулюванням. У результаті маємо: $k_p = 0,21 \text{ \%}$ ходу РО/°С, $T_i = 64 \text{ с}$, $T_n = 12,8 \text{ с}$.

Стійкість систем регулювання

Стійкість замкненої САР – одна з найважливіших вимог до систем автоматичного регулювання. У стійкої САР при будь-якому реальному збуренні на систему регульована величина при перехідному процесі не буде нескінченно відхилятися від заданого значення.

Існує багато критеріїв стійкості САР, як аналітичних, так і графічних. Найбільш поширений критерій Найквіста, який дозволяє здійснити оцінку стійкості замкнених систем управління за амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ) розімкненої системи.

Критерій Найквіста має два формулювання. Найбільш просте в застосуванні наступне: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в

замкненому стані необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкненої системи $W(j\omega)$ при зміні ω від нуля до нескінченності не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини.

При використанні даного критерію необхідно побудувати годограф Найквіста (амплітудно-фазова частотна характеристика) розімкненої системи і пересвідчитися, що годограф не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$.

На рис. 6.2 наведено годографи для різних випадків.

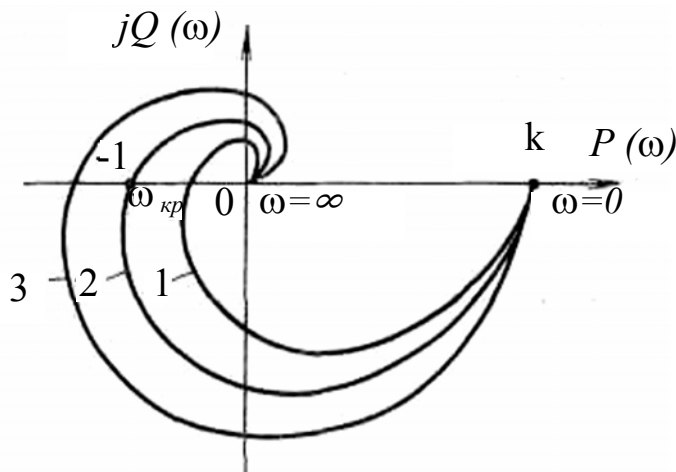


Рис. 6.2. Годограф Найквіста систем, стійких у розімкненому стані.

- 1 – САР стійка в замкнутому стані;
- 2 – САР на межі стійкості;
- 3 – САР нестійка в замкнутому стані.

Критерій Найквіста зручно застосовувати для систем, що містять ланки чистого запізнення.

Для побудови годографа необхідно знати передавальні функції об'єкта регулювання ($W(p)_{zz}$) і регулятора з виконавчим механізмом ($W(p)_p$).

Тоді передавальна функція розімкненої системи регулювання є добутком передавальних функцій вказаних блоків (як послідовне з'єднання ланок), тобто

$$W(p)_c = W(p)_{zz} * W(p)_p.$$

Підставивши значення $p=j\omega$, отримаємо:

$$W(j\omega)_c = W(j\omega)_{zz} * W(j\omega)_p. \quad (6.1)$$

де ω – циклічна частота, сек^{-1} ,

$$j = \sqrt{-1}$$

Після підстановки числових значень у передавальні функції і обчислення за виразом (5.17), виділимо дійсну і уявну частину:

$$W(j\omega)_c = \text{Re}(w) + j\text{Im}(w), \quad (6.2)$$

де $\text{Re}(w)$ і $\text{Im}(w)$ – дійсна і уявна частина відповідно.

Змінюючи частоту (ω) від 0 до ∞ , будуємо годограф у координатному просторі $Re - Im$ і відповідно до критерію оцінюємо стійкість системи.

Зазначимо: якщо об'єкт регулювання містить ланку транспортного запізнення ($W(j\omega)_z = e^{-j\omega\tau}$), то рекомендується побудувати годограф Найквіста без урахування даної ланки, а потім повернути годограф на $\alpha = \omega\tau$ за годинниковою стрілкою.

Приклад. Оцінимо стійкість системи, що містить двоємнісний об'єкт регулювання і найпростіший пропорційний регулятор.

Об'єкт і регулятор мають наступні передавальні функції в загальному вигляді:

$$W(p)_{об} = \frac{k \cdot e^{-p\tau}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad W(p)_{рег} = k_p$$

Після підстановки числових значень параметрів об'єкта і регулятора, приймаючи $p = j\omega$, отримуємо:

$$W(j\omega)_{об} = \frac{0.05 \cdot e^{-j13\omega}}{(46j\omega + 1)(11j\omega + 1)}, \quad W(j\omega)_{рег} = 68$$

Передавальна функція розімкненої системи без урахування ланки транспортного запізнення буде мати вигляд (добуток передавальних функцій):

$$W(j\omega)_{pc} = \frac{0.05 \cdot 68}{(46j\omega + 1)(11j\omega + 1)} \quad (6.3)$$

Враховуючи, що $j = \sqrt{-1}$, виконаємо обчислення, звільнившись від ірраціональності в знаменнику і приведемо вираз (6.3) до вигляду (6.2). Опускаючи проміжні перетворення, отримуємо:

$$W(j\omega)_{pc} = \frac{1034\omega^2 - 2.04}{-256000\omega^4 - 2238\omega^2 - 1} + j \frac{116\omega}{-256000\omega^4 - 2238\omega^2 - 1} \quad (6.4)$$

Візьмемо декілька значень ω , обчислимо необхідні для побудови годографа показники (табл. 6.3).

Використовуючи отримані дані, будуємо годограф без урахування транспортного запізнення (крива А, рис. 6.3), повернувши кожну точку годографа на кут α за годинниковою стрілкою, отримаємо годограф з урахуванням ланки транспортного запізнення (крива Б).

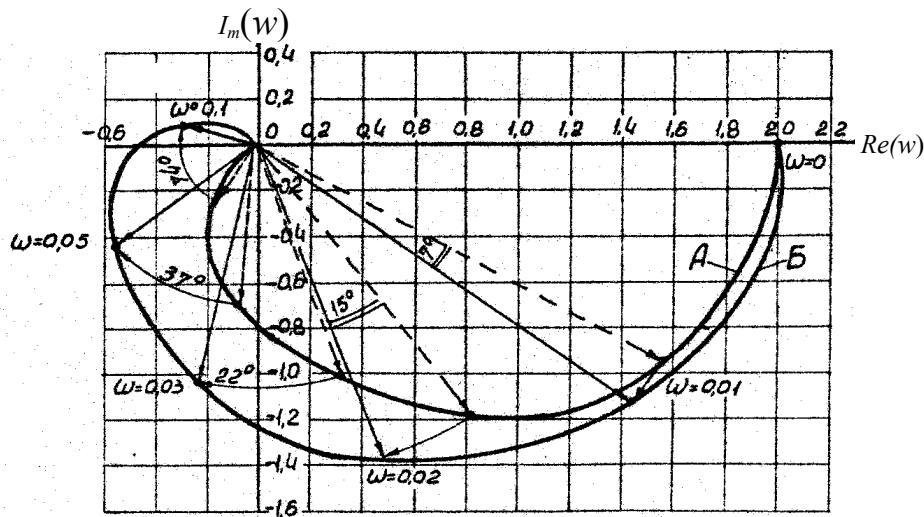


Рис. 6.3. Годограф Найквіста розімкнутої системи:
А – без урахування ланки транспортного запізнення;
Б – з урахуванням транспортного запізнення.

З рисунка видно, що крива (Б) не охоплює критичну точку з координатами $(-1; j0)$. Отже, система стійка і в робочому замкненому стані.

Треба звернути увагу, що при збільшенні часу транспортного запізнення об'єкта регулювання крива (Б), повертаючись на більший кут, наближається до критичної точки стійкості. Це підтверджує той факт, що наявність транспортного запізнення завжди утруднює регулювання і знижує якість перехідного процесу.

Табл. 6.3. Розрахункові значення точок годографа

w	$Re(w)$	$Im(w)$	$\alpha = w\tau$, рад	α , град
0	2,04	0	0	0
0,01	1,56	-0,95	0,13	7
0,02	0,82	-1,2	0,26	15
0,03	0,33	-1,08	0,39	22
0,05	-0,07	-0,71	0,65	37
0,1	-0,17	-0,24	1,3	74
0,5	-0,01	-0,004	6,5	372
∞	0	0	-	-

Контрольні запитання:

1. Вкажіть основні параметри налаштувань регуляторів.
2. Яка послідовність визначення налаштовувальних параметрів регулятора?
3. Поясніть поняття стійкості систем регулятора.
4. Яка послідовність перевірки САР на стійкість за допомогою критерію Найквіста?

Література до теми: [6], [7], [8], [9-10].

7. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Технологічні параметри, об'єкти систем автоматичного контролю. Поняття датчика і перетворювача. Перетворювачі переміщення. Диференціальні і мостові схеми підключення датчиків. Датчики фізичних величин – температури, тиску, механічних зусиль. Контроль рівнів середовищ. Класифікація і схеми рівнемірів. Методи контролю витрат рідких середовищ. Витратоміри змінного рівня і змінного перепаду тиску. Ротаметри. Електромагнітні витратоміри. Реалізація витратомірів і галузь застосування. Способи контролю густини суспензій. Манометричний, ваговий і радіоізотопний густиноміри. Контроль в'язкості і складу суспензій. Автоматичні гранулометри, аналізатори. Вологоміри продуктів збагачення.

7.1. Загальна характеристика систем контролю. Датчики і перетворювачі

У основі автоматичного керування збагачувальними процесами – безперервне і точне вимірювання вхідних і вихідних технологічних параметрів процесу збагачення.

Потрібно розрізнявати основні вихідні параметри процесу (або конкретної машини), що характеризують кінцеву мету процесу, наприклад, якісно-кількісні показники продуктів переробки, і проміжні (непрямі) технологічні параметри, що визначають умови протікання процесу, режими роботи обладнання. Наприклад, для процесу збагачення вугілля у відсаджувальній машині основними вихідними параметрами можуть бути вихід і зольність кінцевих продуктів. На ці показники впливає ряд проміжних чинників, наприклад, висота і розпушеність постелі у відсаджувальній машині, гранулометричний склад штучної постелі тощо.

Крім того, існує ряд параметрів, що характеризують технічний стан технологічного обладнання. Наприклад, температура підшипників технологічних механізмів; параметри централізованого рідкого мастила підшипників; стан перевантажувальних вузлів і елементів потоково-транспортних систем; наявність матеріалу на стрічці конвеєра; присутність металевих предметів на стрічці конвеєра, рівні матеріалу і пульпи в ємкостях; тривалість роботи і час простоїв технологічних механізмів тощо.

Особливу трудність викликає автоматичний оперативний контроль технологічних параметрів, що визначають характеристику сировини і продуктів збагачення, зокрема зольність, речовинний склад руди, міра розкриття мінеральних зерен, гранулометричний і фракційний склад матеріалів, ступінь окисненості поверхні зерен і т.ін. Дані показники або контролюються з недостатньою точністю, або не контролюються зовсім.

Велике число фізичних і хімічних величин, що визначають режими процесів переробки сировини, контролюється на збагачувальних фабриках з достатньою точністю. До них можна віднести густину і йонний склад пульпи, об'ємні і масові витрати технологічних потоків, реагентів, палива, повітря; рівні продуктів у машинах і апаратах, температуру середовища, тиск і вакуум в апаратах, вологість продуктів тощо.

Таким чином, різноманіття технологічних параметрів, їх важливість при управлінні процесами збагачення вимагають розробки надійно діючих систем контролю. При цьому оперативне вимірювання фізико-хімічних величин засноване на різних принципах.

Треба зазначити, що надійність роботи систем контролю параметрів в основному визначає працездатність сучасних систем автоматичного керування процесами.

Системи автоматичного контролю слугують основним джерелом інформації при управлінні виробництвом, у тому числі в складі САР і АСК ТП.

Датчики і перетворювачі

Основним елементом систем автоматичного контролю, який визначає надійність і працездатність всієї системи, є датчик

(давач), що безпосередньо контактує з середовищем, яке контролюється.

Датчиком називається елемент автоматики, який здійснює перетворення контрольованого параметра в сигнал, придатний для введення його в систему контролю або керування.

Типова система автоматичного контролю в загальному випадку включає первинний вимірювальний перетворювач (датчик), вторинний перетворювач, лінію передачі інформації (сигналу) і реєструючий прилад (рис. 7.1). Часто система контролю має тільки чутливий елемент, перетворювач, лінію передачі інформації і вторинний (реєструючий) прилад.



Рис. 7.1. Структурна схема системи автоматичного контролю.

Датчик, як правило, містить чутливий елемент, що сприймає величину вимірюваного параметра, а в деяких випадках і перетворює її в сигнал, зручний для дистанційної передачі на реєструючий прилад, а при необхідності – в систему регулювання.

Прикладом чутливого елемента може бути мембрана диференціального манометра, що вимірює різницю тиску на об'єкті. Переміщення мембрани, викликане зусиллям від різниці тиску, перетворюється за допомогою додаткового елемента (перетворювач) в електричний сигнал, який легко передається на реєстратор.

Інший приклад датчика – термопара, де суміщені функції чутливого елемента і перетворювача, оскільки на холодних кінцях термопари виникає електричний сигнал, пропорційний вимірюваній температурі.

Докладніше датчики конкретних параметрів будуть описані нижче.

Перетворювачі класифікуються на однорідні і неоднорідні. Перші мають однакову за фізичною природою вхідну і вихідну величину. Наприклад, підсилювачі, трансформатори, випрямлячі

перетворюють електричні величини в електричні з іншими параметрами.

Серед неоднорідних найбільшу групу складають перетворювачі неелектричних величин в електричні (термопари, терморезистори, тензометричні датчики, п'єзоелементи і т.ін.).

За видом вихідної величини ці перетворювачі поділяються на дві групи: генераторні, що мають на виході активну електричну величину ЕРС, і параметричні – з пасивною вихідною величиною у вигляді R, L або C.

Перетворювачі переміщення. Найбільше поширення отримали параметричні перетворювачі механічного переміщення. До них належать R (резисторні), L (індуктивні) і C (ємнісні) перетворювачі. Ці елементи змінюють вихідну величину пропорціонально вхідному переміщенню: електричний опір R, індуктивність L і ємність C (рис. 7.2).

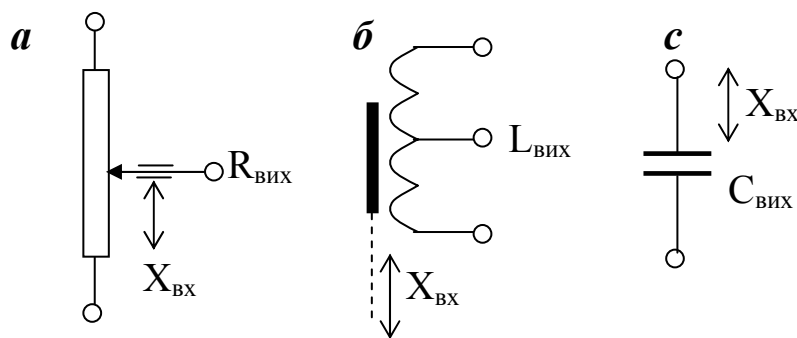


Рис. 7.2. Перетворювачі механічного переміщення:
а – резисторні, б – індуктивні, с – ємнісні.

Індуктивний перетворювач може бути виконаний у вигляді катушки з відводом від середньої точки і плунжером (сердечником), який переміщується всередині.

Перетворювачі звичайно підключаються до систем контролю за допомогою мостових схем. У одне з плечей моста (рис. 7.3 а) підключається перетворювач переміщення. Тоді вихідна напруга ($U_{вих}$), що знімається з вершин моста А-В, буде змінюватися при переміщенні робочого елемента перетворювача і може бути оцінена виразом:

$$U_{вих} = ((Z_1 \cdot Z_3 - Z_2 \cdot Z_4) / (Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)) / U_{живл} \quad (7.1)$$

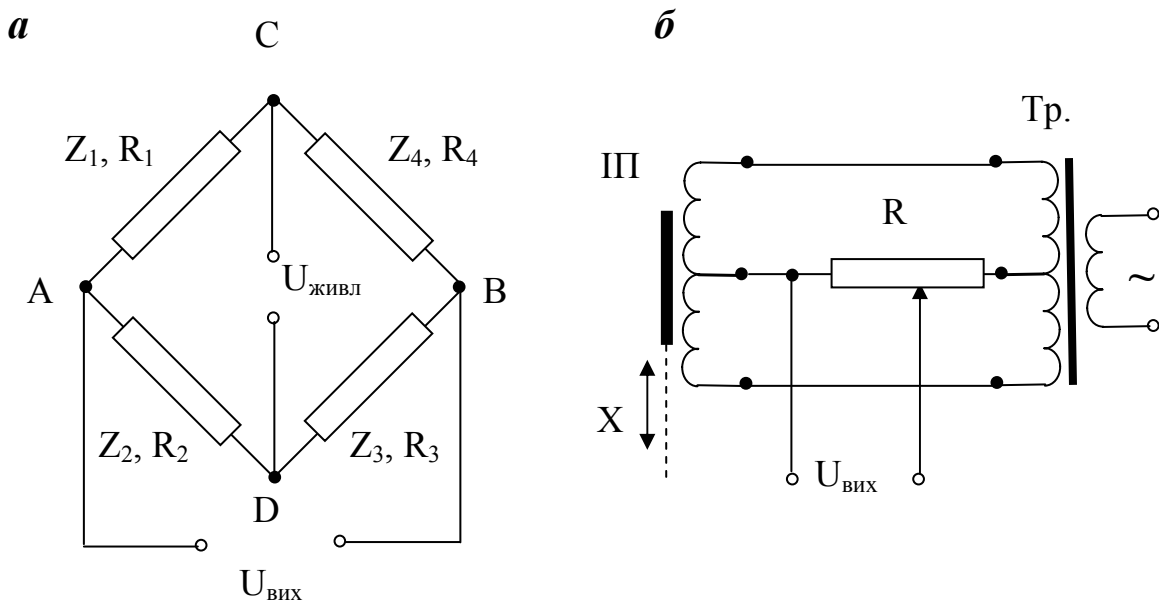


Рис. 7.3. Схеми мостового підключення перетворювачів: а – загальний випадок; б – мостова схема з індуктивним перетворенням.

Напруга живлення моста ($U_{\text{жнвл}}$) може бути постійного (при $Z_i=R_i$) або змінного (при $Z_i=1/(C\omega)$ або $Z_i=L\omega$) струму з частотою ω .

У мостову схему з R елементами можуть підключатися терморезистори, тензо- і фоторезистори, тобто перетворювачі, вихідний сигнал яких – зміна активного опору R .

Індуктивний перетворювач, що широко застосовується, звичайно підключається до мостової схеми змінного струму, утвореної трансформатором (рис. 7.3 б). Вихідна напруга в цьому випадку виділяється на резисторі R , включеному в діагональ моста.

Особливу групу складають часто застосовувані індукційні перетворювачі – диференціально-трансформаторні і феродинамічні (рис. 7.4). Це – генераторні перетворювачі.

Вихідний сигнал ($U_{\text{вих}}$) цих перетворювачів формується у вигляді напруги змінного струму, що виключає необхідність застосування мостових схем і додаткових перетворювачів.

Диференціальний принцип формування вихідного сигналу в трансформаторному перетворювачі (рис. 6.4 а) заснований на використанні двох вторинних обмоток, включених назустріч одна одній. Тут вихідний сигнал – векторна різниця напруг, що виникають у вторинних обмотках при подачі напруги живлення

$U_{\text{живл}}$. При цьому вихідна напруга несе дві інформації: абсолютне значення напруги – про величину переміщення плунжера, а фаза – про напрям його переміщення:

$$\bar{U}_{\text{вих}} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = kX_{\text{вх}},$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

$X_{\text{вх}}$ – вхідний сигнал (переміщення плунжера).

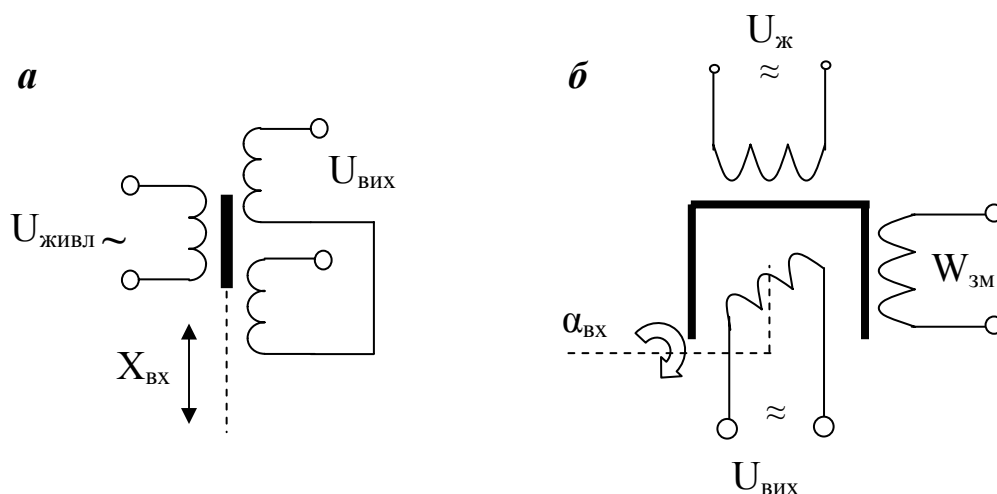


Рис. 7.4. Схема диференціально-трансформаторного (а) і феродинамічного (б) перетворювачів.

Диференціальний принцип формування вихідного сигналу збільшує чутливість перетворювача в два рази, оскільки при переміщенні плунжера, наприклад, вгору росте напруга у верхній обмотці (U_1) внаслідок зростання коефіцієнта трансформації, на стільки ж знижується напруга в нижній обмотці (U_2).

Диференціально-трансформаторні перетворювачі широко розповсюджені в системах контролю і регулювання завдяки своїй надійності і простоті. Їх використовують у первинних і вторинних приладах зміни тиску, витрат, рівнів тощо.

Більш складними є феродинамічні перетворювачі (ПФ) кутових переміщень (рис. 7.4 б і 7.5).

Тут у повітряному зазорі магнітопроводу (1) вміщене циліндричне осердя (2) з обмоткою у вигляді рамки. Осердя встановлене за допомогою кернів і може повертатися на невеликий кут $\alpha_{\text{вх}}$ в межах $\pm 20^\circ$. На обмотку збудження

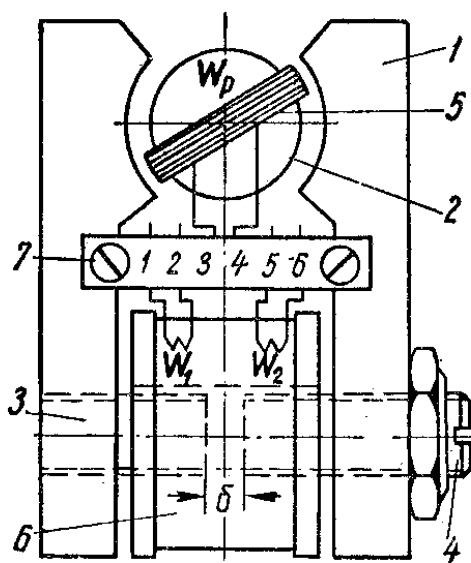


Рис. 7.5. Феродинамічний перетворювач:

1 - магнітопровід; **2** - циліндричне осердя; **3,4** - нерухомий і рухомий плунжери; **5** - поворотна рамка з обмоткою w_p ; **6** - катушка з обмотками збудження (w_1) і зміщення (w_2); δ - повітряний зазор.

У цьому випадку вихідний сигнал - сума напруг, що знімаються з рамки і обмотки зміщення, чому відповідає характеристика 2 або 2', якщо змінити підключення обмотки зміщення на протифазне.

Важливою властивістю феродинамічного перетворювача є можливість зміни крутизни характеристики. Це досягається зміною величини повітряного зазора (δ) між нерухомим (3) і рухомим (4) плунжерами магнітопроводу, угвинчуючи або вигвинчуючи останній.

Розглянуті властивості перетворювачів ПФ використовують при побудові відносно складних систем регулювання з виконанням найпростіших обчислювальних операцій.

перетворювача (w_1) подається змінна напруга 12 - 60 В, внаслідок чого виникає магнітний потік, що перетинає площу рамки (5). У її обмотці індукується струм, напруга якого ($U_{\text{вих}}$) при інших рівних умовах пропорційна куту повороту рамки ($\alpha_{\text{вх}}$), а фаза напруги змінюється при повороті рамки в ту або іншу сторону від нейтрального положення (паралельно магнітному потоку).

Статичні характеристики перетворювачів ПФ показано на рис. 7.6.

Характеристику 1 має перетворювач без включеної обмотки зміщення ($w_{\text{зм}}$). Якщо нульове значення вихідного сигналу треба отримати не в середньому, а в одному з крайніх положень рамки, потрібно включити обмотку зміщення послідовно з рамкою.

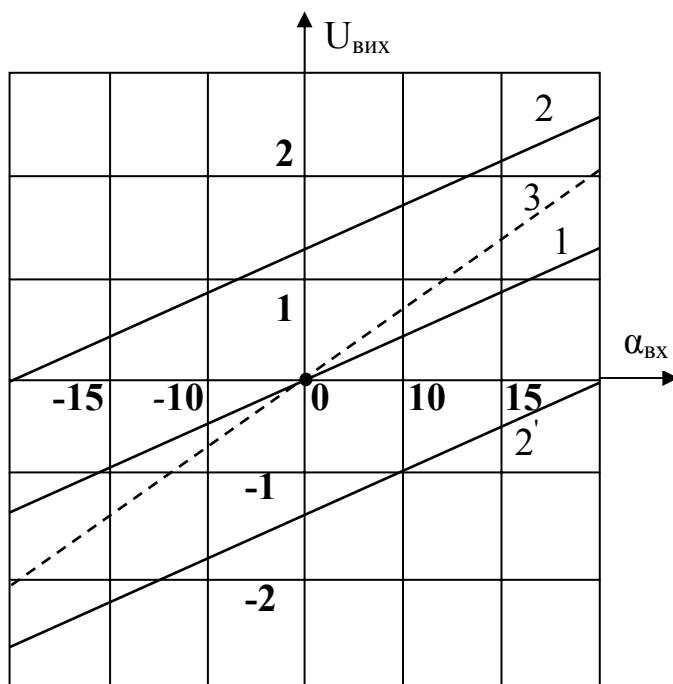


Рис. 7.6. Статичні характеристики ферродинамічного перетворювача:

1 – без обмотки зміщення; 2, 2' – з підключеною обмоткою зміщення; 3 – при зменшенні повітряного зазора і відключеній обмотці зміщення.

Загальнопромислові датчики фізичних величин

Ефективність процесів збагачення багато в чому залежить від технологічних режимів, які, в свою чергу, визначаються значеннями параметрів, що впливають на ці процеси. Різноманіття збагачувальних процесів обумовлює велику кількість технологічних параметрів, що вимагають свого контролю. Для контролю певних фізичних величин досить мати стандартний датчик з повторним приладом (наприклад, термопара - автоматичний потенціометр), для інших

необхідні додаткові пристрої і перетворювачі (густиноміри, витратоміри, золотоміри тощо).

Серед великої кількості промислових датчиків можна виділити датчики, що широко застосовуються в різних галузях промисловості як самостійні джерела інформації і як складові елементи більш складних датчиків.

У даному підрозділі розглянемо найпростіші загальнопромислові датчики фізичних величин.

Датчики температури. Контроль теплових режимів роботи котлоагрегатів, сушильних установок, деяких вузлів тертя машин дозволяє отримати важливу інформацію, необхідну для управління роботою вказаних об'єктів.

Манометричні термометри. Даний пристрій включає в себе чутливий елемент (термобалон) і показуючий прилад, які

з'єднані капілярною трубкою і заповнені робочою речовиною. Принцип дії заснований на зміні тиску робочої речовини в замкненій системі термометра в залежності від температури.

У залежності від агрегатного стану робочої речовини розрізняють рідинні (ртуть, ксилол, спирт), газові (азот, гелій) і парові (насичена пара низькокиплячої рідини) манометричні термометри.

Тиск робочої речовини фіксується манометричним елементом - трубчастою пружиною, що розкручується при підвищенні тиску в замкненій системі.

У залежності від виду робочої речовини термометра межі вимірювання температури складають від -50° до $+1300^{\circ}\text{C}$. Прилади можуть оснащуватися сигнальними контактами, записуючим пристроєм.

Терморезистори (термоопори). Принцип дії заснований на властивості металів або напівпровідників (термістори) змінювати свій електричний опір із зміною температури. Ця залежність для терморезисторів має вигляд:

$$R_x = R_0 [1 + \alpha_T (T_x - T_0)], \quad (7.2)$$

де R_0 - опір провідника при $T_0=293^{\circ}\text{K}$;

α_T - температурний коефіцієнт опору.

Чутливі металеві елементи виготовляють у вигляді дротяних котушок або спіралей в основному з двох металів - міді (для низьких температур до 180°C) і платини (від -250° до 1300°C), вміщених у металевій захисній кожух.

Для реєстрації температури терморезистор, як первинний датчик, підключається до автоматичного моста змінного струму (вторинний прилад). Нижче ми докладніше розглянемо цей випадок.

У динамічному відношенні терморезистори можна зобразити аперіодичною ланкою першого порядку з передавальною функцією $W(p)=k/(Tp+1)$, якщо ж стала часу датчика (Т) значно менша сталої часу об'єкта регулювання (контролю), то даний елемент можна приймати за пропорційну ланку.

Термопари. Для вимірювання температур у великих діапазонах і понад 1000°C звичайно застосовують термоелектричні термометри (термопари).

Принцип дії термопар заснований на ефекті виникнення ЕРС постійного струму на вільних (холодних) кінцях двох різнорідних спаяних провідників (гарячий спай) за умови, що температура холодних кінців відрізняється від температури спаю. Величина ЕРС пропорційна різниці цих температур, а величина і діапазон температур, що вимірюються, залежать від матеріалу електродів. Електроди з нанизаними на них фарфоровими бусами вміщуються в захисну арматуру.

Підключення термопар до реєструючого приладу здійснюють спеціальними термоелектродними проводами. Як реєструючий прилад може використовуватися мілівольтметр з певним градуванням або автоматичний міст постійного струму (потенціометр).

При розрахунку систем регулювання термопари можуть зображатися, як і терморезистори, аперіодичною ланкою першого порядку або пропорційною ланкою.

Промисловість випускає різні типи термопар (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. Характеристика термопар

Тип	Електродні пари	Діапазон вимірювання °С
ТХК	Хромель-копель	- 50 - 600
ТХА	Хромель-алюмель	0 – 1000
ТПП	Платинородій-платина	0 - 1600
ТВМ	Вольфрам-молібден	0 - 2000

Датчики тиску. Датчики тиску (вакууму) і перепаду тиску отримали широке застосування в гірничо-збагачувальній галузі як загальнопромислові датчики, так і як складові елементи більш складних систем контролю таких параметрів, як густина пульпи, витрата, рівень рідких середовищ, в'язкість суспензії тощо.

Прилади для вимірювання надмірного тиску називаються *манометрами*, або *напоромірами*, для вимірювання вакуумметричного тиску (нижче атмосферного, розрідження) - вакуумметрами або тягомірами, для одночасного вимірювання надлишкового і вакуумметричного тиску - мановакуумметрами або тягонапорометрами.

Найбільш поширені датчики пружинного типу (деформаційні) з пружними чутливими елементами у вигляді

манометричної пружини (рис. 7.7 а), гнучкої мембрани (рис. 7.7 б) і гнучкого сільфона.

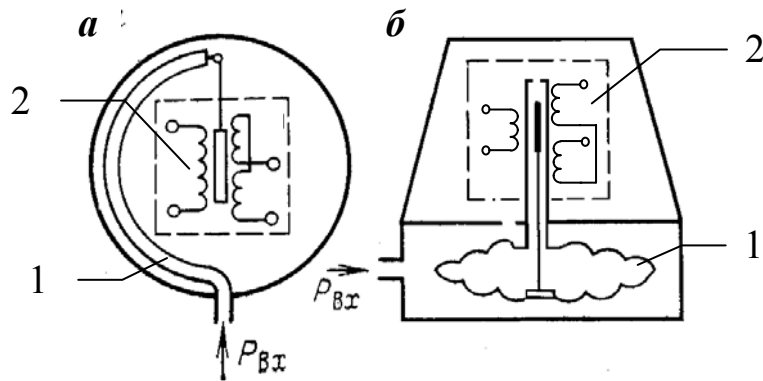


Рис. 7.7. Пружинні манометри: а – з трубчастою пружиною; б – з мембраною; 1 – чутливий елемент; 2 – індукційно-трансформаторний перетворювач.

Для передачі даних на реєструючий прилад у манометрах може бути вбудований перетворювач переміщення. На рисунку показано індукційно-трансформаторні перетворювачі (2), плунжери яких пов'язані з чутливими елементами (1 і 2).

Прилади для вимірювання різниці двох тиску (перепаду) називаються диференціальними манометрами, або дифманометрами (рис. 7.8). Тут тиск впливає на чутливий елемент з двох сторін, ці прилади мають два вхідних штуцери для подачі більшого (+P) і меншого (-P) тиску.

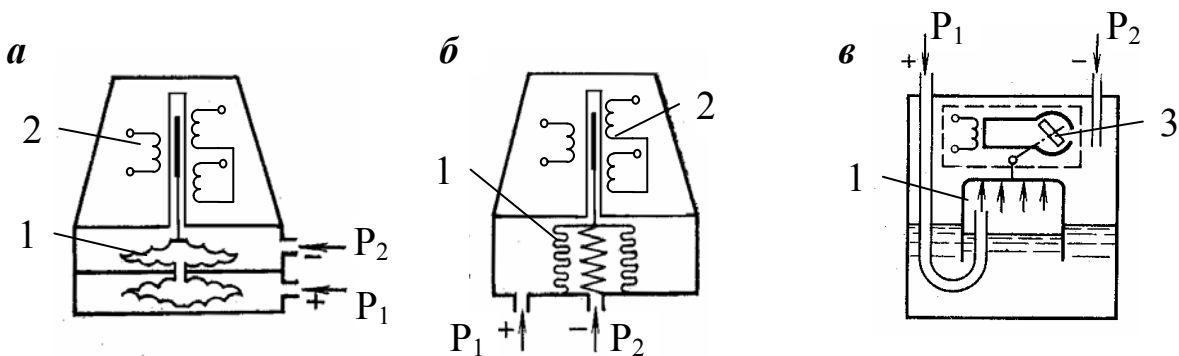


Рис. 7.8. Диференціальні манометри: а – мембранний; б – сільфонний; в – дзвоновий; 1 – чутливий елемент; 2 – трансформаторний перетворювач переміщення; 3 – феродинамічний перетворювач переміщення.

Дифманометри можна розділити на дві основні групи: рідинні і пружинні. За видом чутливого елемента серед

пружинних найбільш поширені мембранні (рис. 7.8а), сильфонні (рис. 7.8 б), серед рідинних – дзвонові (рис. 7.8 в).

Мембранний блок (рис. 7.8 а) звичайно заповнюється дистильованою водою.

Дзвонові дифманометри, у яких чутливим елементом є дзвін, частково занурений догори дном у трансформаторне масло, є найбільш чутливими. Вони застосовуються для вимірювання невеликих перепадів тиску в межах 0 – 400 Па, наприклад, для контролю вакууму в топках сушильних і котельних установок.

Розглянуті дифманометри належать до безшкальних, реєстрація контрольованого параметра здійснюється вторинними приладами, на які надходить електричний сигнал від відповідних перетворювачів переміщення.

Датчики механічних зусиль. До них належать датчики, що містять пружний елемент і перетворювач переміщення, тензометричні, п'єзоелектричні і ряд інших (рис. 7.9).

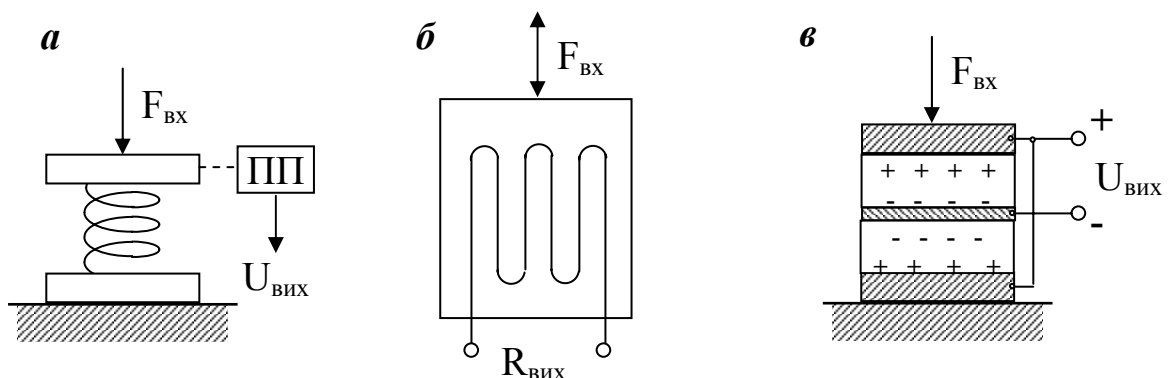


Рис. 7.9. Датчики механічних зусиль:
а – з пружним елементом і перетворювачем переміщення (ПП);
б – тензометричний; в – п'єзометричний.

Принцип роботи даних датчиків зрозумілий з рисунка. Зазначимо, що датчик з пружним елементом може працювати з вторинним приладом – компенсатором змінного струму, тензометричний датчик – з мостом змінного струму, п'єзоелектричний – з мостом постійного струму. Детальніше на цьому ми зупинимося в подальших розділах.

Тензометричний датчик являє собою підкладку, на яку наклеєно декілька витків тонкого проводу (спеціальний сплав), або металевої фольги, як показано на рис. 7.9 б. Датчик

наклеюється на чутливий елемент, що сприймає навантаження F , з орієнтацією довгої осі датчика по лінії дії сили, що контролюється. Цим елементом може бути будь-яка конструкція, що знаходиться під впливом сили F і працює в межах пружної деформації. Цієї ж деформації зазнає і тензодатчик, при цьому провідник датчика довшає або скорочується по довгій осі його установки. Останнє приводить до зміни його омичного опору за відомою з електротехніки формулою $R=\rho l/S..$

Додамо тут, що розглянуті датчики можуть бути використані при контролі продуктивності стрічкових конвеєрів (рис. 7.10 а), вимірюванні маси транспортних засобів (автомобілів, залізничних вагонів, рис. 7.10 б), маси матеріалу в бункерах тощо.

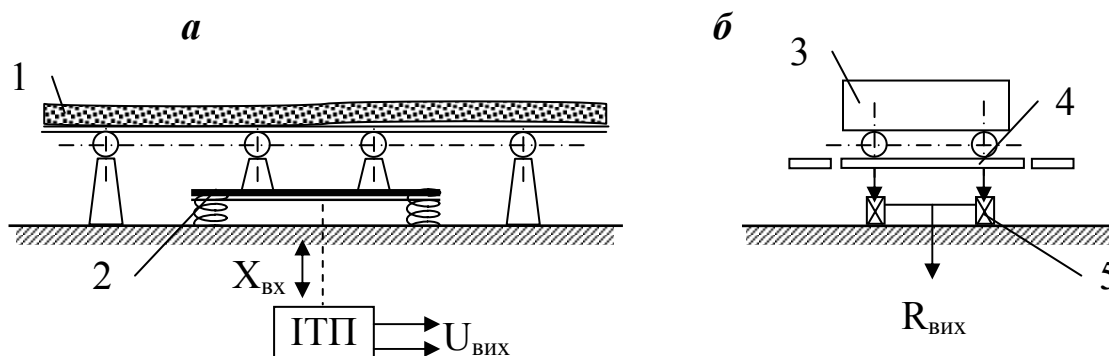


Рис. 7.10. Варіанти контролю продуктивності конвеєра (а) і маси вагона (б): 1 – стрічковий конвеєр; 2 – вагова платформа з пружними елементами; 3 – вагон; 4 – вагова платформа; 5 – тензометричний блок.

Оцінка продуктивності конвеєра заснована на зважуванні певної ділянки навантаженої матеріалом стрічки при постійній швидкості її руху. Вертикальне переміщення вагової платформи (2), встановленої на пружних зв'язках, викликане масою матеріалу на стрічці, передається на плунжер індукційно-трансформаторного перетворювача (ІТП), який формує інформацію на вторинний прилад ($U_{вх}$).

Для зважування залізничних вагонів, навантажених автомобілів вагова платформа (4) спирається на тензометричні блоки (5), що являють собою металеві опори з наклеєними тензометричними датчиками, які випробовують пружну деформацію, що залежить від маси об'єкта зважування.

7.2. Автоматичний контроль рівнів і витрат продуктів

Автоматичний контроль рівнів середовищ

Класифікація рівнемірів. Автоматичний контроль рівнів різних середовищ – необхідна умова при управлінні рядом технологічних процесів і автоматизації роботи деяких збагачувальних машин: автоматизація заповнення бункерів сипким матеріалом, стабілізація рівнів пульп у вакуум-фільтрах, флотаційних машинах, зумпфах і т.ін.

Засоби і схеми контролю рівнів середовищ класифікуються на *безперервні (аналогові)* і *дискретні (релейні)*. Аналогові рівнеміри застосовуються при необхідності отримання безперервної інформації про поточне значення рівнів, наприклад, при автоматичному управлінні процесами і апаратами. Дискретні рівнеміри контролюють фіксований (заданий) рівень середовища. Вид інформації про значення рівня в цьому випадку – оптична і звукова сигналізація.

За способом контролю рівня існує ширша класифікація. Найчастіше застосовують рівнеміри: електродні, поплавкові, манометричні, п'єзометричні, ємнісні, радіоізотопні, фотометричні та ін.

Електродні рівнеміри. Найчастіше використовуються для дискретного контролю рівнів сипких і рідких електропровідних середовищ. У гірничо-збагачувальній практиці широко застосовується електродний показчик рівня УКС-1У і його більш рання модифікація – ІКС-2Н.

Спрощена схема електродного рівнеміра подана на рис. 7.11.

Робота схеми проста. При досягненні кінцем датчика рівня (ДР) поверхні середовища виникає електричний ланцюг від джерела живлення U_1 , що спричиняє спрацювання реле P_1 . Його контакт $P1-1$, що при цьому замикається, подає живлення U_2 на проміжне реле $P2$, контакти якого (на схемі показано один) можуть використовуватися для сигналізації і блокування електричних ланцюгів управління приводами обладнання, наприклад, вимкнути конвеєр подачі матеріалу в бункер.

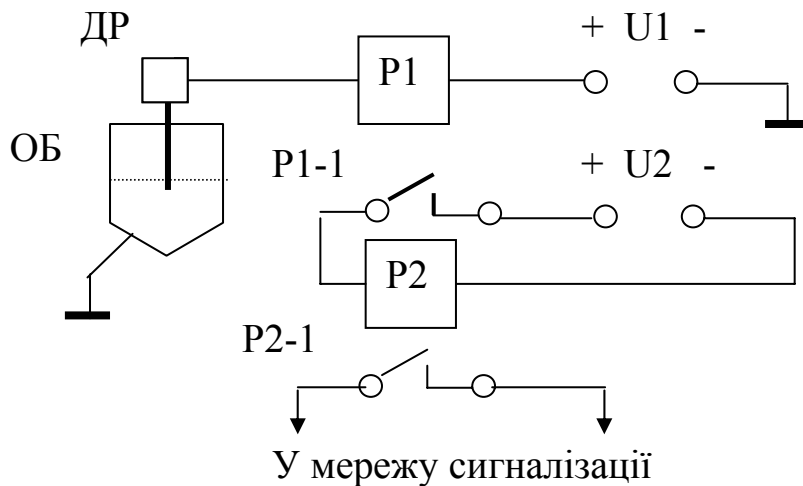


Рис. 7.11. Спрощена схема електродного датчика рівня: ДР - датчик рівня; ОБ – об'єкт контролю; P1 – обмотка чутливого реле; P2 – проміжне реле; P1-1 і P2-1 контакти реле, відповідно, P1 і P2.

Схема промислового УКС забезпечує іскробезпеку при контакті електрода з контрольованим матеріалом, наприклад, в бункері, де можливе скупчення метану, ліквідує помилкове спрацювання реле при запорошенні електродного блока і має можливість контролювати 2 рівні: нижній і верхній, використовуючи два електроди.

Поплавкові рівнеміри. Застосовуються для безперервного контролю рівнів в основному чистих рідин. Для реєстрації контрольованого рівня досить кінематично зв'язати переміщення поплавка з будь-яким перетворювачем переміщення і передати отриманий сигнал на вторинний прилад.

Манометричний рівнемір. Застосовується для безперервного контролю рівнів будь-яких рідких середовищ з відкритою поверхнею, включаючи пульпи і суспензії. Реалізує найбільш простий і надійний спосіб вимірювання рівня. Схема наведена на рис. 7.12.

Рівнемір складається з манометричної трубки (1), вміщеної в об'єкті на глибину необхідного для контролю рівня (h), диференціального манометра (ДМ) і реєстратора (вторинного приладу).

Дифманометр вимірює перепад тиску:

$$\Delta P = P_1 - P_2,$$

де $P_1 = P_{атм} + \rho gh$; $P_2 = P_{атм}$
 відки $\Delta P = \rho gh$,

тут ρ - густина рідини.

При постійних ρ і g маємо $\Delta P = ch \equiv h$.

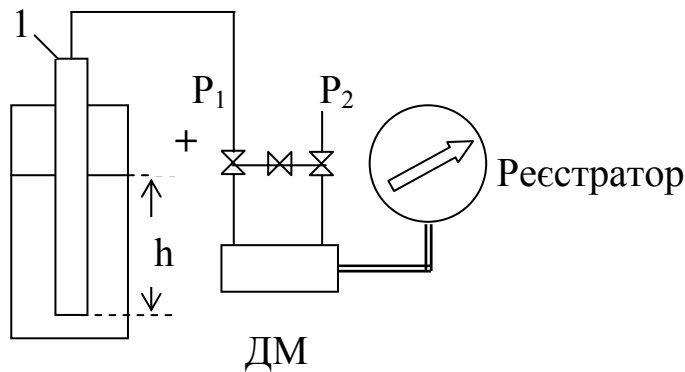


Рис. 7.12. Схема манометричного рівнеміра: ДМ - дифманометр; 1 - патрубок; h - контрольований рівень.

Для даного рівнеміра легко розраховується і вибирається тип дифманометра, який відповідає необхідним межах вимірювання рівня.

Імовірність зашламовування манометричної трубки можна знизити шляхом збільшення її діаметра.

П'єзометричний

рівнемір. Робота рівнеміра (рис. 7.13а) основана на вимірюванні тиску повітря, що продувається через шар рідини за допомогою п'єзометричної трубки. Цей тиск витрачається на подолання гідростатического тиску P рідини:

$$P = \rho gh,$$

де ρ - густина рідини; g - прискорення сили тяжіння; h - товщина шару рідини.

Основний недолік даного рівнеміра - необхідність використання очищеного стисненого повітря.

При зміні рівня рідини змінюється площа обкладки утвореного конденсатора, що супроводжується зміною ємності.

Ємнісний рівнемір. У основі роботи рівнеміра лежить вимірювання ємності конденсатора, утвореного зануреним у середовище електродом і середовищем, що безпосередньо контролюється.

Для рідких електропровідних середовищ застосовуються первинні перетворювачі з одним електродом (рис. 7.13 б), покритим ізоляційним шаром. Роль другого електрода грає контрольоване середовище.

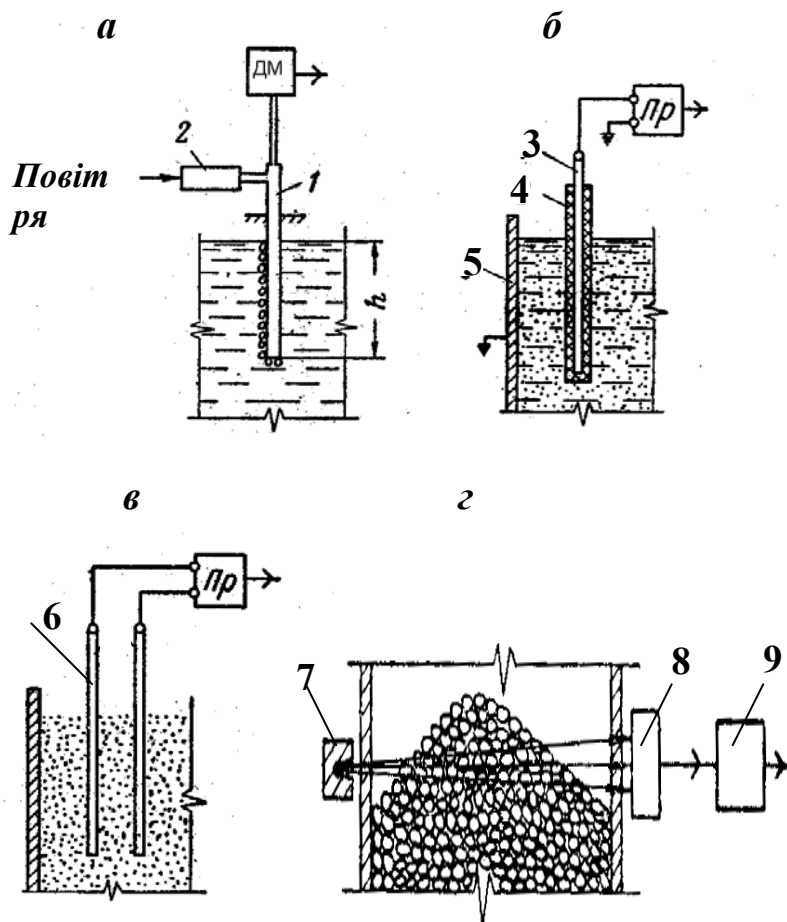


Рис. 7.13. Схеми п'єзометричного (а), ємнісного (б, в) і радіоізотопного (г) рівнемірів: 1 – п'єзометрична трубка; 2 – редуктор тиску; 3, 6 – електроди; 4 – ізоляційний шар; 5 – стінка апарата (другий електрод); 7 – гамма-джерело; 8 – детектор; 9 – електронний блок; ДМ – дифманометр; Пр – перетворювач.

Для вимірювання рівня неелектропровідних середовищ використовується первинний перетворювач з двома неізольованими електродами (рис. 7.13 в).

Вимірювання ємності і перетворення її в пропорційний зміні рівня вихідний сигнал здійснюється проміжним перетворювачем (Пр), що містить індуктивно-ємнісний міст.

Радіоізотопний рівнемір (гамма-реле). Призначений для дискретного контролю рівня твердих і рідких середовищ, наприклад, контроль заповнення бункерів, баків оборотної і технічної води тощо.

Робота основана на тому, що гамма-випромінювання поглинається контрольованим середовищем значно більшою мірою, ніж речовиною, що знаходиться над нею. Рівнемір (рис. 7.13 г) містить джерело гамма-випромінювання (7), блок детектування (8) і електронний блок (9). Сигнал з електронного блока управляє проміжним реле, контакти якого використовуються для сигналізації і в ланцюгах блокування.

Контроль витрат рідких і газоподібних середовищ

Витратоміри змінного рівня. Витратоміри даного типу реалізують відому залежність витрати рідини через отвір витоку, розташований у дні посудини, від рівня рідини:

$$Q = \beta F_0 \sqrt{2gh}, \quad (7.3)$$

де β – коефіцієнт витрати;
 F_0 – площа отвору витоку;
 g – прискорення сили тяжіння;
 h – рівень рідини.

Найбільше поширення отримали витратоміри з пульпозливом (рис. 7.14), де контрольоване середовище витікає з допоміжної посудини (витратомірний бак) через калібровану щілину. Це так звані щілинні витратоміри.

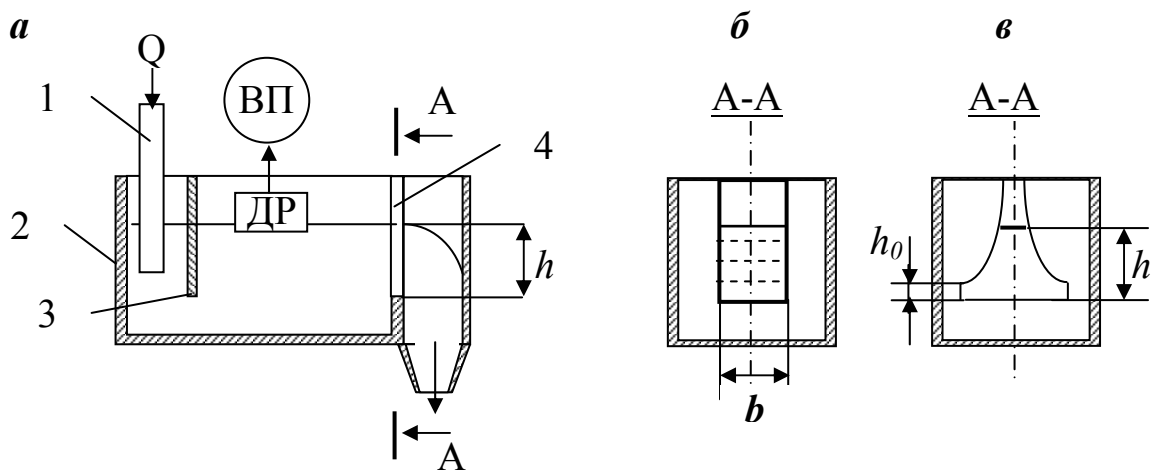


Рис. 7.14. Щілинний витратомір: а – загальна схема; б – прямокутний пульпозлив; в – пропорційний пульпозлив; 1 – живильний патрубок; 2 – витратомірний бак; 3 – перегородка заспокоювання; 4 - перегородка з щілиною витоку; ДР – датчик рівня; ВП – вторинний реєструючий прилад.

У разі прямокутної щілини (рис. 7.14 б) витрата рідини визначається за виразом:

$$Q = mb\sqrt{2gh^{\frac{3}{2}}} = Kh^{\frac{3}{2}}, \quad (7.4)$$

тут m – коефіцієнт витрати (для пульп $m=0,65$);
 b – ширина порога зливу;
 K – постійний коефіцієнт.

Як впливає з формули, зв'язок між витратою рідини і рівнем нелінійний, що створює деякі труднощі при контролі параметра.

Можна отримати і лінійну залежність, якщо зробити змінною ширину порога зливу (b_i):

$$b_i = \frac{K}{m\sqrt{2gh_i}} \quad (7.5)$$

Коефіцієнт K визначається за формулою $K=Q_{max}/h_{max}$.

Профіль щілини, виконаний за рівнянням (7.5), показано на рис. 7.14, в. У нижній частині криволінійний профіль замінюється прямокутним, оскільки при наближенні h_i до 0 величина b прямує до нескінченності. Тому початковою ділянкою шкали (h_0) користуватися не можна.

Щілинний витратомір широко застосовуються при контролі витрат пульп і суспензій.

Витратоміри змінного перепаду тиску (ВЗПТ). Використовуються при контролі витрат рідких і газоподібних середовищ. Дозволяють вимірювати великі витрати середовищ при високому внутрішньому тиску в трубопроводах.

Принцип роботи заснований на вимірюванні перепаду тиску, що виникає на спеціальному звужувальному пристрої, вміщеному в трубопроводі. Види звужувальних пристроїв показано на рис. 7.15.

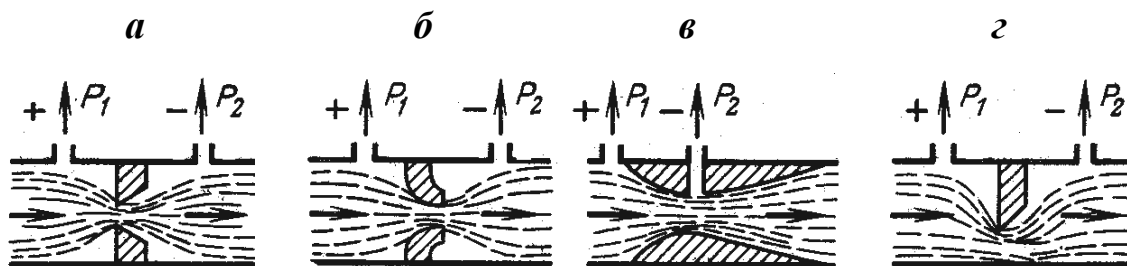


Рис. 7.15. Види звужувальних пристроїв:
а – нормальна діафрагма; б – сопло; в – труба Вентурі;
г – сегментна діафрагма.

Перепад тиску $\Delta p = p_1 - p_2$ виникає у відповідності із законом Бернуллі:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2g}, \quad (7.6)$$

де p_1, v_1 – тиск і швидкість потоку до звужувального пристрою;

p_2, v_2 – те ж після звужувального пристрою;

ρ – густина середовища

Із (6.6) випливає:
$$\Delta p = \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Масова витрата складе:

$$Q = \alpha S \sqrt{2g\Delta p}, \quad (7.7)$$

тут α – коефіцієнт, що залежить від типу звужувального пристрою;

S – перетин прохідного отвору звуження.

Достатня точність контролю забезпечується тільки стандартними звужувальними пристроями (на рис. 7.15 а, б, в), які виготовляються з високою точністю зі спеціальних сталей. Для чистих рідин і газів застосовують нормальні діафрагми, для контролю витрати пульп і суспензій рекомендується використовувати сопло або трубу Вентурі (рис. 7.16), робочі поверхні яких для підвищення зносостійкості можуть футеруватися різними стійкими до стирання матеріалами (наприклад, кам'яне литво) або гумуватися (покриття гумою).

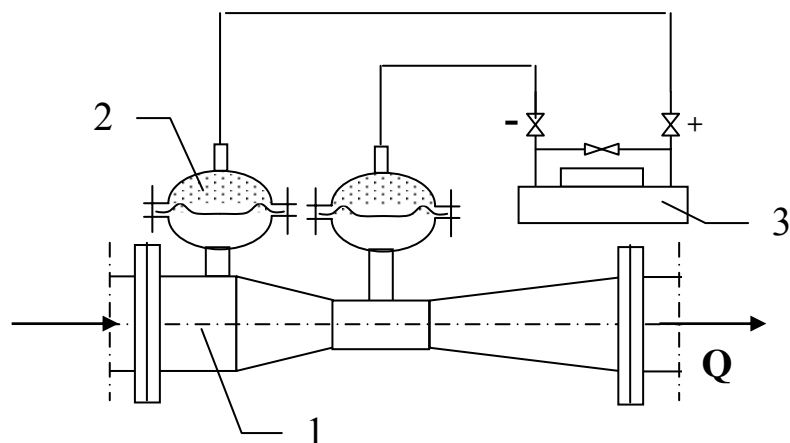


Рис. 7.16. Витратомір з трубою Вентурі:
1 – труба Вентурі; 2 – розділювальні посудини;
3 – дифманометр.

Для запобігання попаданню твердої фази контрольованого середовища в порожнини дифманометрів контроль тиску здійснюється за допомогою розділювальних посудин (2).

Верхня і нижня порожнини розділювальних посудин розділені в'ялою мембраною, при цьому верхні порожнини і порожнини диференціального манометра заливаються дистильованою водою.

Витратоміри постійного перепаду тиску. До даної групи відносять ротаметри і поршневі витратоміри (рис. 7.17). Тут при зміні витрати середовища змінюється прохідний перетин за рахунок переміщення робочого елемента вгору – поплавка в ротаметрах або поршня в поршневих витратомірах.

Переміщення робочих елементів перетворюється в електричний сигнал за допомогою трансформаторних перетворювачів.

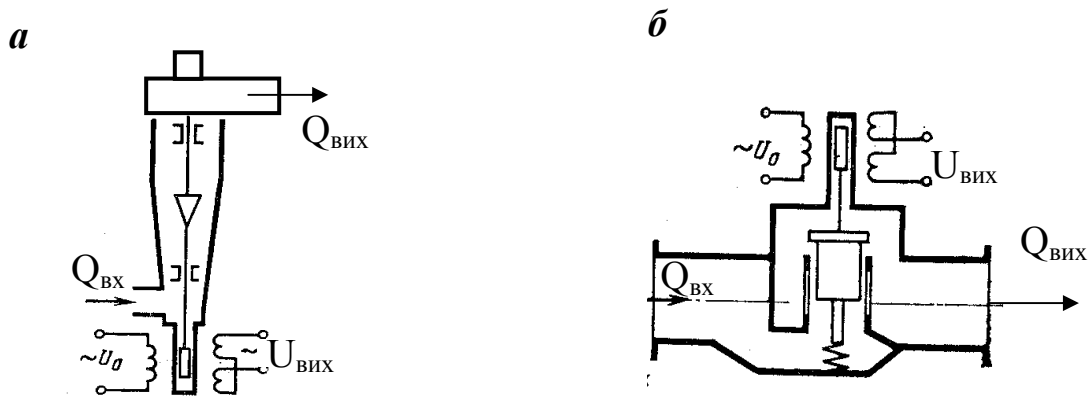


Рис. 7.17. Схема ротаметра (а) і поршневого витратоміра (б).

Ротаметри застосовуються для вимірювання невеликих витрат газоподібних і рідких (переважно чистих) середовищ.

Поршневі витратоміри можуть контролювати витрати в'язких рідин, наприклад, мазуту.

Електромагнітні витратоміри. Застосовуються для контролю великих витрат рідких електропровідних середовищ (рис. 7.18). У основі роботи лежить відомий закон електромагнітної індукції (закон Фарадея).

Витратомір містить ділянку труби (1), виконану з немагнітного і неелектропровідного матеріалу, який пронизується магнітним полем (Н). У стовпчиках рідини (2), що перетинають магнітний потік з швидкістю V , наводиться ерс:

$$E_{вих} = k l H V,$$

де k – коефіцієнт; l – довжина стовпчика рідини (відстань між електродами (3)); H – напруженість поля; V – швидкість потоку.

Таким чином, вимірюючи $E_{вих}$, можна оцінювати витрату потоку, яка складе $Q=SV=SE/(klH)$,

тут S – площа перетину труби.

Основні недоліки витратоміра – невисока точність вимірювання, залежність показань приладу від властивостей контрольованого середовища.

У промисловості добре себе зарекомендував електромагнітний витратомір МР-400К.

7.3. Контроль властивостей суспензій і складу рідких та твердих середовищ

З численних способів контролю густини пульп і суспензій (ареометричний, п'єзометричний, гідростатичний, манометричний, ваговий, радіоізотопний) розглянемо ті, що найбільше застосовуються у збагачувальній галузі.

Манометричний густиномір. Найбільш поширений при контролі густини вугільних пульп. Це пов'язано з високою точністю вимірювання, надійністю і простотою приладу. Основний недолік густиноміра – необхідність розриву контрольованого середовища і компонувальні складності, пов'язані з висотою пристрою.

Густиномір складається (рис. 7.19) з вертикально встановленої труби (1), циліндроконічної посудини з кільцевою камерою відбору тиску (2), переливної посудини (3) з приймальною лішкою (4).

Циліндроконічна посудина має насадку (5) з каліброваним отвором. Діаметр отвору вибирається таким, щоб запобігти його зашламовуванню з одного боку і забезпечити наявність переливу у верхній частині труби (1). Останнє стабілізує рівень пульпи h_n .

Для компенсації статичного тиску стовпа чистої рідини, що знаходиться у вимірювальній трубі (1), передбачено моностат (6) з воронкою (7), заповнений чистою водою. Висота вільної

поверхні води в моностаті відносно діафрагми дифманометра (h_6) дорівнює висоті (h_n).

Робота пристрою полягає в наступному. Відібрана для контролю частина пульпи надходить у приймальну лійку (4), де відбувається її очищення від великих чужорідних матеріалів, і заповнює систему густиноміра до наявності переливу з труби. Тоді дифманометр вимірює різницю тиску:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_{атм} + \rho_n g h_n - P_{атм} - \rho_6 g h_6 = g h (\rho_n - 1) = c (\rho_n - 1) \quad (7.8)$$

де $P_{атм}$ – атмосферний тиск;

ρ_n – густина пульпи;

ρ_6 – густина води ($\rho_6 = 1$);

$h_n = h_6$ – висота стовпів рідини;

$c = g h$ – сталий коефіцієнт.

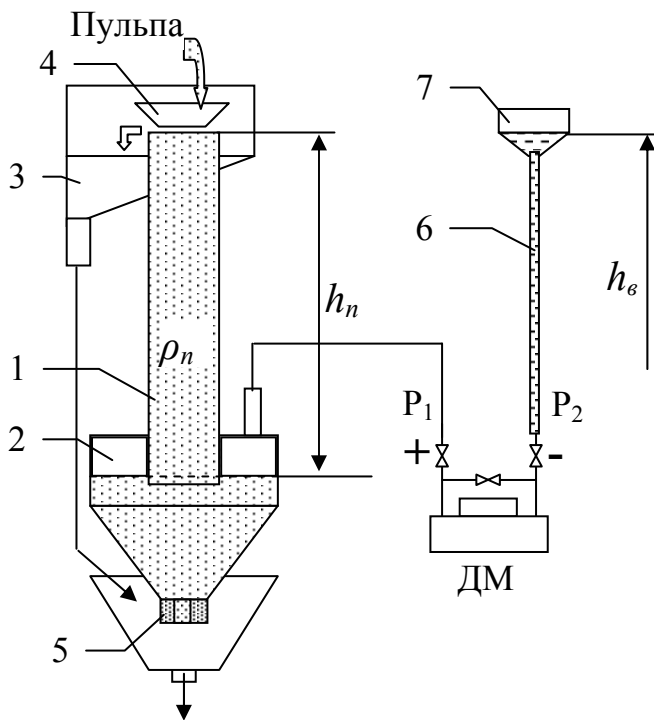


Рис. 7.19. Схема манометричного густиноміра.

Вираз (6.8) показує, що при подачі у вимірювальну трубу чистої води різниця $\Delta P = 0$, тобто стрілка реєструючого приладу встановиться на "0", що відповідає нульовому вмісту твердого в пульпі. Ця обставина різко підвищує чутливість густиноміра, що особливо важливо при контролі малої густини, характерної для вугільних пульп.

Зауважимо, що при відсутності моностата вторинний прилад в цьому випадку буде реєструвати тиск $\Delta P = \rho_6 g h_6$, що різко звужує робочу ділянку шкали приладу.

Ваговий густиномір. Для контролю суспензій з більшою густиною, наприклад, магнетитових, можуть застосовуватися надійні вагові густиноміри. Принципова схема густиноміра ІГВФ (індикатор густини ваговий феродинамічний) показана на рис. 7.20.

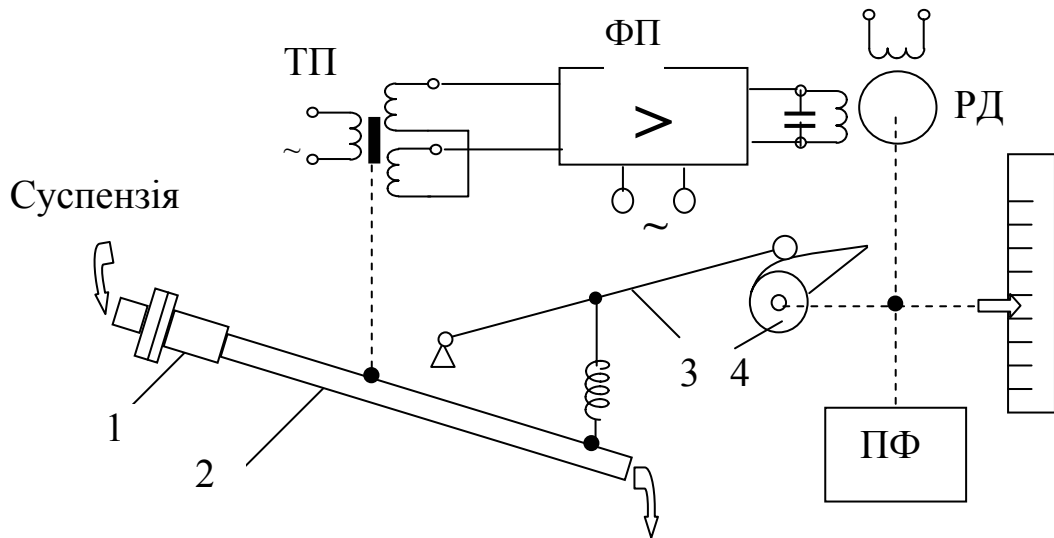


Рис. 7.20. Принципова схема вагового густиніміра ІВФ:
1 – гнучка манжета; 2 – ваговий патрубок; 3 – важіль;
4 – лекало; ТП – трансформаторний перетворювач
переміщення; РД – реверсивний електродвигун;
ФП – фазочутливий підсилювач; ПФ – перетворювач
феродинамічний.

Принцип роботи густиніміра полягає в автоматичному вимірюванні маси суспензії певного об'єму, що протікає через ваговий патрубок (2). У приладі використано компенсаційний принцип вимірювання маси патрубка з суспензією.

При збільшенні маси суспензії (збільшенні її густини) ваговий патрубок, завдяки наявності гнучкої манжети (1), опускається.

Осердя трансформаторного перетворювача (ТП), жорстко закріплене до патрубка, зміщується відносно свого нейтрального положення. Це спричиняє появу на вході підсилювача (ФП) напруги.

Посилений сигнал спричиняє обертання ротора двигуна (РД), останній повертає лекало (4) в такому напрямі, щоб за допомогою важеля (3) і пружини підвести патрубок у початковий стан, осердя при цьому займає знову нейтральне положення. Сигнал на вході підсилювача зникає, ротор РД зупиняється, пов'язана з ним система реєстрації фіксує нове значення густини суспензії.

Для передачі інформації на вторинний прилад ВФСМ в густиномір вбудований феродинамічний перетворювач (ПФ), рамка якого кінематично зв'язана з ротором двигуна.

Густиномір випускається Харківським заводом контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА).

Радіоізотопний густиномір. Це найбільш технологічні густиноміри, що визначають густину середовища безпосередньо в трубопроводі.

Основний недолік – невисока точність вимірювання, особливо для пульп з малою густиною твердої фази, наприклад, вугільних.

Робота основана на залежності поглинання радіоактивних випромінювань від густини пульпи (рис. 7.21).

Інтенсивність випромінювання, яке пронизує потік пульпи від джерела (2) до приймального пристрою (3), визначається виразом:

$$J \approx J_0 \exp(-\mu_m L \rho),$$

де J_0 – інтенсивність випромінювання на виході джерела (при $L=0$);

μ_m – масовий коефіцієнт послаблення випромінювання;

L – товщина шару пульпи.

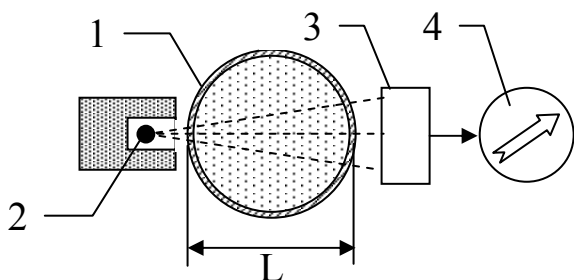


Рис. 7.21. Схема радіоізотопного густиноміра: 1 – трубопровід; 2 – джерело випромінювання; 3 – приймальний пристрій; 4 – реєстратор.

Для жорсткого гамма-випромінювання масовий коефіцієнт послаблення практично не залежить від складу твердої фази пульпи. Це дозволяє отримати однозначну залежність вигляду:

$$\rho = \frac{1}{\mu_m L} \ln \frac{J_0}{J} \quad (7.9)$$

На рудних збагачувальних фабриках експлуатуються густиноміри типу ПР-1027М і ПР-1028. Похибка вимірювання цих густиномірів на мідних і залізородних збагачувальних фабриках становить $\pm 2\%$.

Контроль в'язкості суспензій

В'язкість суспензії – один з основних технологічних параметрів, що визначають ефективність важкосередовищної сепарації. Пристрій для контролю в'язкості суспензії (рис. 7.22) розроблено на основі манометричного густиноміра (рис. 7.19). Основною відмінністю є наявність у вимірювальній трубці не постійного, а змінного стовпа суспензії, висота якого (H) залежить від швидкості витoku суспензії через затоплену батарею патрубків.

Суспензія

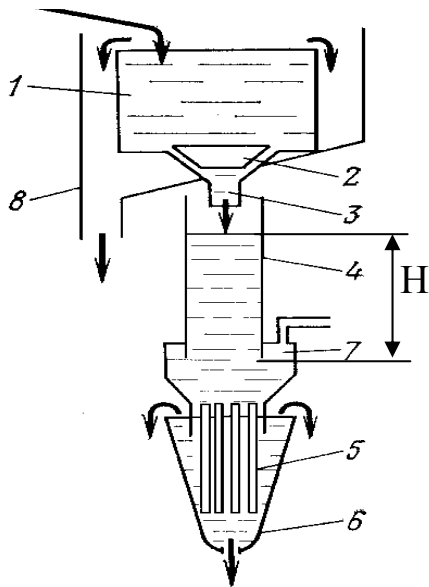


Рис. 7.22. Схема віскозиметра.

Отже, її в'язкість, вимірюється дифманометром через кільцеву камеру відбору тиску (7).

Розглянутий датчик в'язкості характеризується невисокою точністю вимірювання, але для цілей автоматизації схеми регенерації суспензії при важкосередовищній сепарації його застосування виправдане.

Контроль складу рідких середовищ

Концентрація речовин, розчинених у рідкій фазі пульпи, є одним з важливих параметрів процесів флотації. Актуальними питаннями на збагачувальних фабриках є контроль концентрації реагентів та йонів в рідкій фазі пульпи, залишкової концентрації коагулянтів у оборотній воді, концентрації шкідливих речовин у стічних водах.

Датчик в'язкості складається з приймального пристрою (1), що працює з переливом, заспокоювача потоку (2) і втулки з каліброваним отвором (3), що забезпечує постійну витрату суспензії у вимірювальну трубку (4).

Суспензія з труби протікає через батарею патрубків (5), розміщену в компенсаційній воронці (6).

Висота стовпа суспензії (H), що характеризує опір руху суспензії через патрубки, а

Вимірювальні пристрої для аналізу складу і властивостей пульп отримали назву *аналізаторів рідини*. У збагачувальному виробництві поширені автоматичні *йонімірні* і *кондуктометричні* аналізатори.

Йонімірний аналізатор рідини. Робота аналізаторів заснована на вимірюванні *ерс* електродної системи, що селективно залежить від активності певного йона. Електродна система складається з двох електродів – вимірювального, потенціал якого відносно розчину визначається концентрацією йона, що контролюється в розчині, і допоміжного, який практично не змінює свій потенціал відносно розчину при зміні в ньому концентрації йонів.

На збагачувальних фабриках дані аналізатори можуть використовуватися для вимірювання концентрації активних водневих і сульфідних йонів, йонів ксантогенату і концентрації ціанідів.

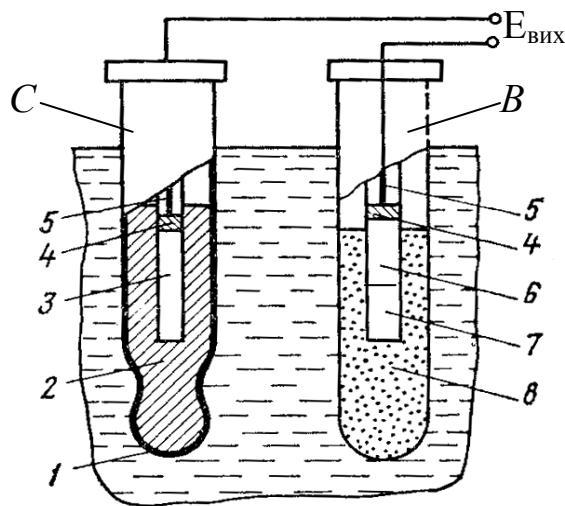


Рис. 7.23. Електродна система для вимірювання рН:
С – скляний електрод;
В – допоміжний електрод.

Для визначення *pH* пульпи (концентрації водневих йонів $[H^+]$) застосовують основний скляний електрод (рис. 7.23, С) і допоміжний (порівняльний) електрод (В).

Скляний електрод являє собою товстостінну скляну трубку з тонкостінною порожнистою кулькою (1), заповнену буферним розчином (2). У цей розчин поміщено контактний електрод (3), що передає потенціал через ртутний контакт (4) і провідник (5) на вихід датчика.

Допоміжний електрод (В) подає потенціал на вихід ($E_{вих}$) за допомогою ртутно-каломелевої системи (6) зі скляною ватою (7), вміщених у насичений розчин хлористого калію (8).

Вихідний сигнал ($E_{вих}$), пропорційний *pH* пульпи, подається на вторинний прилад – міст постійного струму.

На рудних збагачувальних фабриках набули поширення рН-метри з датчиком типу ДПр-5254 і багатоканальний аналізатор концентрацій реагентів та рН середовища "Реагент ЗБ" або АЖЭ-8.

Для вимірювання концентрації сульфідних йонів використовується електродна система, що складається з вимірювального аргентитового електрода і допоміжного хлорсрібного. У цьому випадку на поверхні вимірювального електрода виникає потенціал, пропорційний величині pS , який вимірюється по відношенню до потенціалу допоміжного електрода.

Якщо в пульпі відсутні сульфідні та ціанідні йони, аргентитовий електрод може бути застосований для оцінки концентрації йонів ксантогенату.

Кондуктометричні аналізатори рідини засновані на вимірюванні електропровідності рідини, що залежить від вмісту в ній розчинених речовин і їх природи. Даний аналізатор застосовується рідко, оскільки він характеризується слабкою селективністю і може використовуватися при наявності в розчині тільки однієї речовини з великою концентрацією.

Контроль складу твердих продуктів

Автоматичний контроль складу продуктів збагачення є найважливішим завданням автоматизації технологічних процесів. Це складна задача, яка вирішується у двох напрямках – розробка дискретного контролю з використанням стаціонарних аналізаторів і створення засобів автоматичного контролю речовинного складу продуктів збагачення безпосередньо в потоці.

Для систем автоматичного управління процесами необхідний оперативний, бажано безперервний контроль у потоці, тому стаціонарні аналізатори тут розглядати не будемо.

Найбільш перспективними аналізаторами речовинного складу в потоці є рентгенівські флуоресцентні спектрометри і радіоізотопні аналізатори.

Рентгенівські флуоресцентні спектрометри. Суть роботи даних спектрометрів полягає у наступному. Під впливом рентгенівського випромінювання атоми контрольованої речовини переходять у збуджений стан, при якому електрони, поглинаючи ззовні порції енергії, займають вищі енергетичні рівні. Зворотний перехід супроводжується випромінюванням

енергії – вторинним йонізуючим випромінюванням. При цьому кожний елемент має своє випромінювання з дискретним індивідуальним енергетичним спектром. Це дозволяє за спектром вторинного випромінювання визначати наявність певного елемента (якісний аналіз), а за густиною потоку енергії характеристичного випромінювання – кількість елемента (кількісний аналіз).

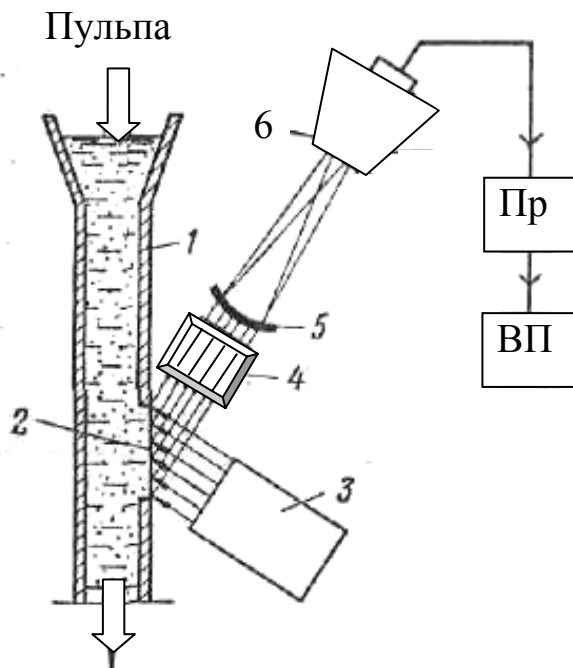


Рис. 7.24. Схема рентгенівського флуоресцентного спектрометра.

випромінювання розкладається у спектр. Характеристичні випромінювання контрольованих елементів по чергово надходять у вимірювальну систему (6). Остання містить блоки детектування, комутації і обчислення і формує сигнал для проміжного перетворювача (Пр). На виході перетворювача з'являються сигнали, пропорційні вмістам контрольованих елементів, які надходять на вимірювальний прилад (ВП), що містить блок розподілу. ВП реєструє відношення вмістів контрольованих елементів.

Потрібно зазначити, що завдяки диференціальному принципу вимірювання показ спектрометра не залежить від густини пульпи.

Розглянутий метод покладено і в основу роботи рентгенівського аналізатора РАМ-1М, розробленого інститутом

Реалізація рентгенівського флуоресцентного спектрометра, який контролює в потоці пульпи відношення вмісту двох елементів, що підлягають розділенню, показана на рис. 7.24. Пульпа надходить у вимірювальну камеру (1), забезпечену отвором, закритим тонкою плівкою (2). Джерелом опромінення пульпи є рентгенівська трубка (3). Вторинне випромінювання потрапляє на багатопластинчастий коліматор (4) і далі на кристал кварцу (5), де

УкрНДІвуглезбагачення і призначеного для вимірювання зольності і вогкості вугілля крупністю до 13 мм в потоці.

Радіоізотопні аналізатори. Принцип роботи оснований на залежності поглинання або розсіювання гамма-випромінювання від складу контрольованої речовини. З формули (6.9) можна отримати вираз:

$$\mu_m = \frac{1}{d\rho} \ln \frac{J_0}{J},$$

де μ_m – масовий коефіцієнт послаблення поглинача;
 ρ – густина поглинача товщиною d .

Для м'якого гамма-випромінювання існує досить сильна залежність масового коефіцієнта послаблення від речовинного складу поглинача. На цьому принципі працює аналізатор, показаний на рис. 7.25, а.

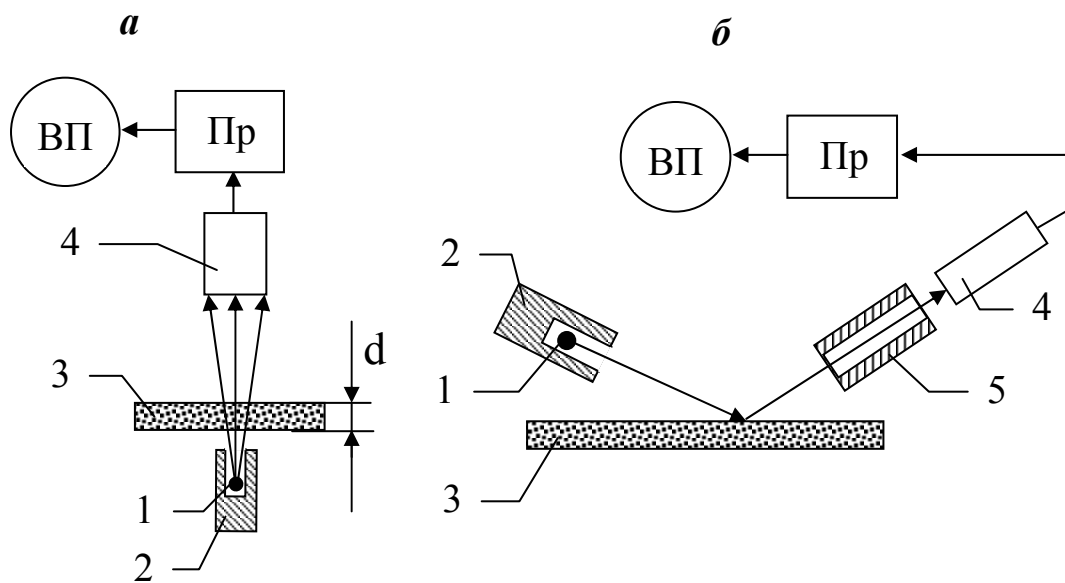


Рис. 7.25. Схеми радіоізотопних аналізаторів:
а – за поглинанням гамма-випромінювання;
б – за розсіянням гамма-випромінювання.

Аналізатор містить джерело м'якого гамма-випромінювання (1), розташоване в контейнері (2), блок детектування (4), перетворювач (Пр) і вимірювальний прилад (ВП). Один з недоліків даної схеми – залежність показів приладу від товщини шару (d) контрольованого матеріалу. Для ліквідації цієї залежності деякі аналізатори містять коректуючу схему, що

включає додаткове джерело жорсткого гамма-випромінювання і компенсує вплив товщини шару матеріалу.

При речовинному аналізі матеріалу в рідких середовищах розроблена схема, наведена на рис. 7.25, б. Тут використано принцип залежності густини потоку енергії йонізуючого випромінювання, розсіяного контрольованим середовищем, від речовинного складу середовища. Схема містить ті ж елементи, що і розглянута вище, додано коліматор (5) і свинцевий екран, що покриває блок випромінювання (на схемі не показаний). У залежності від вмісту в середовищі контрольованих елементів з високими атомними номерами змінюється густина потоку енергії випромінювання, розсіяного під певним кутом.

На цьому принципі працюють деякі автоматичні золоміри вугілля в потоці, наприклад, золоміри РКПТ-2, ВСКЗ-2, розроблені в ДонВУГІ [2].

Контроль вологості продуктів збагачення

Оперативний контроль вологості продуктів збагачення – необхідна умова автоматичного управління процесами зневоднення і термічної сушки. З великої кількості існуючих непрямих методів контролю вологості матеріалів найбільш перспективними є: ємнісний, нейтронний, інфрачервоний і рентгенометричний.

Ємнісні високочастотні вологоміри. Принцип дії вологомірів даної групи заснований на залежності діелектричної проникності матеріалу, що знаходиться у високочастотному електричному полі, від його вогкості. Як первинний датчик тут можуть використовуватися різні конструкції пристроїв типу електричних конденсаторів. Контрольований матеріал, діелектрична проникність якого залежить від його вологості, розташовують між обкладанинками конденсатора.

На вуглезбагачувальних фабриках набув поширення ємнісний вологомір ВАК-4 (рис. 7.26), розроблений інститутом УкрНДІвуглезбагачення. Датчик має форму "лижі", що спирається з постійним зусиллям на транспортований матеріал. Чутливий елемент датчика (рис. а), закріплений на дні "лижі", являє собою плоску чарунку з кільцевими (2) або прямокутними електродами, закріпленими на діелектричній основі (1), і має односторонній контакт з контрольованим матеріалом. Вимі-

рювальна система вологоміра містить коректуючу схему, що ліквідує чутливість вихідного сигналу перетворювача (Пр) до зміни активного опору контрольованого матеріалу.

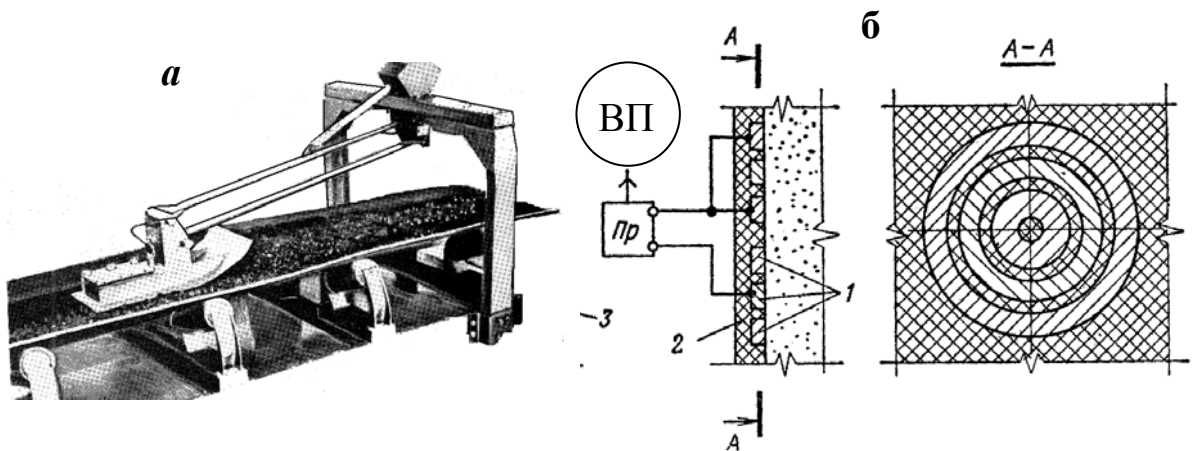


Рис. 7.26. Високочастотний ємнісний вологомір ВАК-4:
а – зовнішній вигляд датчика вологості; **б** – чутливий елемент;
Пр – перетворювач; **ВП** – вимірювальний пристрій.

Як вимірювальний прилад (ВП) використано автоматичний потенціометр (вторинний прилад).

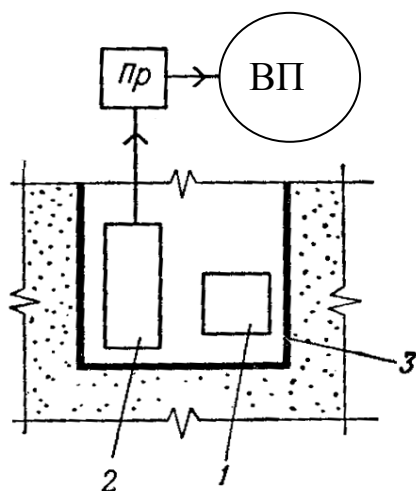


Рис. 7.27. Схема нейтронного вологоміра.

Нейтронні вологоміри.

Нейтронний метод вимірювання вологості заснований на втраті енергії швидких нейтронів при їх зіткненні з атомами водню, що містяться в молекулі води.

При зіткненні нейтронів з ядрами інших елементів втрата енергії значно менша. У даному вологомірі (рис. 7.27) джерело нейтронного випромінювання (1) і блок детектування повільних нейтронів (2) поміщені в захисному кожусі (3), біля якого безперервно проходить контрольований матеріал. Сигнал від блока детектування надходить на проміжний перетворювач (Пр) і далі на вимірювальний прилад (ВП).

Маса контрольованого матеріалу в об'ємі повинна бути постійною, дана вимога – основний недолік вологоміра.

Маса контрольованого матеріалу в об'ємі повинна бути постійною, дана вимога – основний недолік вологоміра.

Інфрачервоні вологоміри. Належать до групи оптичних аналізаторів. Принцип роботи заснований на здатності поглинання водою, що міститься в контрольованому матеріалі, енергії випромінювання з довжиною хвилі в інфрачервоній області (від 0.75 до 2.5 мкм).

У промисловості застосовуються інфрачервоні вологоміри типу ВКИ-1, ВСМИ-1, АНАКОН, що вимірюють вогкість матеріалу в потоці на конвеєрі. Вимірювальна головка приладів встановлюється над стрічкою. Для компенсації впливу інших фізико-хімічних властивостей матеріалу використовується додаткове джерело інфрачервоного випромінювання.

Перевага даних вологомірів – відсутність безпосереднього контакту первинного датчика з контрольованим матеріалом. Основний недолік полягає в тому, що вони є вимірниками тільки поверхневої вологи.

Контроль гранулометричного складу матеріалу

Способи автоматичного контролю гранулометричного складу можуть ґрунтуватися на безпосередніх вимірюваннях крупності частинок і непрямих методах.

На рис. 7.28 *а* наведена схема гранулометра "Мікрон", що працює на принципі прямого вимірювання зернистих частинок твердої фази в потоці пульпи. Гранулометр може використовуватися в рудному збагачувальному виробництві.

Чутливим елементом тут є мікроскопічний щуп (1), шарнірно сполучений штоком (2) з важелем (3), кінематично пов'язаним з трансформаторним перетворювачем (Пр). При роботі двигуна (Дв) кулачковий механізм (4) періодично підіймає щуп над п'ятою (5), в наступний момент вимірювання пружина (6) притискує його до п'яти. Зазор між цими елементами характеризує розмір одиничного зерна, що потрапило в робочу зону. Сигнал, пропорційний величині цього зазору, за допомогою трансформаторного перетворювача переміщення (ТП) подається у вимірювальну систему (ВС), де відбувається інтегрування поточних значень розміру зерна, і середнє його значення фіксується вторинним приладом.

Принцип непрямого методу оцінки крупності матеріалу в потоці ілюструється схемами, показаними на рис. 7.28 *б* і *в*.

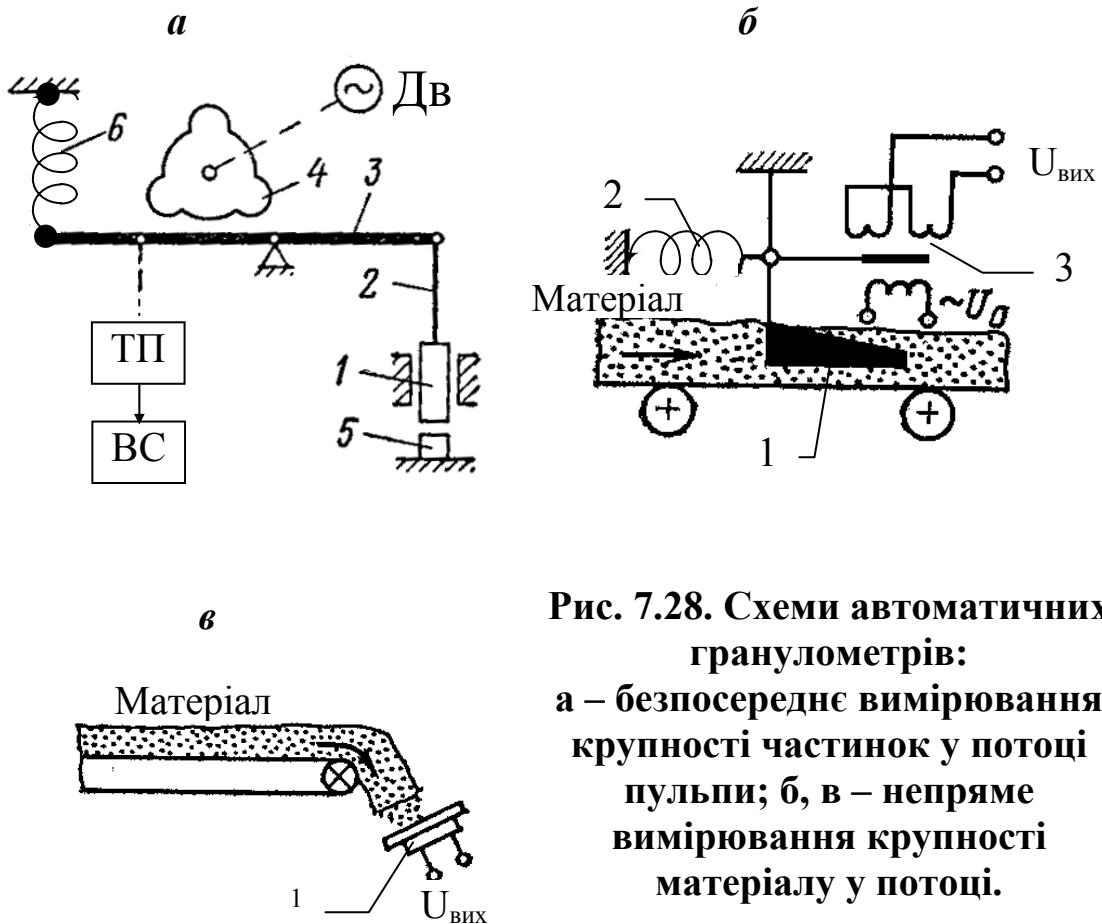


Рис. 7.28. Схеми автоматичних гранулометрів:
а – безпосереднє вимірювання крупності частинок у потоці пульпи; **б, в** – непряме вимірювання крупності матеріалу у потоці.

За першою схемою середній розмір шматка руди оцінюється тиском сипучого потоку на чутливий елемент – пробне тіло (1), переміщення якого, урівноважене пружиною (2), за допомогою трансформаторного перетворювача передається на реєструючий прилад.

У другій схемі (в) оцінка крупності матеріалу (руди) здійснюється за частотною характеристикою коливань пружної пластини датчика (1), які виникають під впливом падаючого матеріалу, з подальшою передачею вихідного сигналу ($U_{\text{вих}}$) у вимірювальну схему.

За останні роки розроблені більш сучасні гранулометри, наприклад, установка автоматичного вимірювання крупності частинок в потоці пульпи "ПКІВ-074" ("Союзколірмет-автоматика").

На закінчення потрібно зазначити, що практичне застосування автоматичних гранулометрів у збагачувальній галузі все ж обмежене через низьку точність вимірювання і невисоку надійність.

Контрольні запитання:

1. Розкрийте поняття датчика і перетворювача.
2. Поясніть роботу мостових вимірювальних схем.
3. Наведіть схеми і поясніть принцип роботи трансформаторного і феродинамічного перетворювачів переміщення.
4. Дайте характеристику датчиків температури і тиску.
5. Наведіть можливі схеми контролю продуктивності конвеєра за допомогою датчиків зусиль.
6. Розкрийте принципи роботи електродного і манометричного рівнемірів.
7. Дайте характеристику ємнісних рівнемірів і опишіть принцип їх роботи.
8. Перерахуйте способи контролю витрат рідких середовищ.
9. Перерахуйте види звужувальних пристроїв витратомірів РППД.
10. Розкрийте суть роботи витратомірів РППД.
11. Наведіть схему витратоміра змінного рівня з пропорційною шкалою.
12. Поясніть принцип роботи ротаметрів. Область застосування.
13. Наведіть схему і поясніть роботу електромагнітного витратоміра.
14. Опишіть класифікацію способів контролю густини пульп.
15. Наведіть схему і поясніть принцип роботи манометричного густиноміра.
16. Вкажіть галузі застосування радіоізотопних густиномірів і опишіть фізичні основи їх роботи.
17. Поясніть принципи контролю складу рідких середовищ.
18. Розкрийте фізичні основи роботи спектрометрів.
19. Дайте характеристику методів автоматичного контролю вологості продуктів збагачення.

Література до розділу: [2], [3], [4].

8. ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Призначення і класифікація вимірювальних приладів. Функціональна схема приладів. Диференціально-трансформаторні і феродинамічні прилади. Автоматичні мости змінного і постійного струму. Керуючі пристрої. Використання комп'ютерної техніки. Виконавчі механізми, класифікація, схеми управління. Види регулюючих органів.

8.1. Вторинні вимірювальні прилади

Загальні відомості

Основне призначення вимірювальних приладів – візуальний показ аконтрольованого параметра, реєстрація його значення на різних носіях, вироблення сигналу поточного значення для системи регулювання. Деякі вторинні прилади містять контактну групу для сигналізації граничних значень параметра та інтегратор.

Вимірювальні прилади класифікуються за декількома ознаками:

- за видом подання результатів вимірювання – *аналогові* (безперервні) і *цифрові* (дискретні);
- за видом структурної схеми – прилади *прямого* вимірювання і прилади, що працюють за принципом *компенсації*;
- за видом енергії, що використовується – електричні, пневматичні і гідравлічні прилади.

Основні риси аналогових приладів прямого вимірювання – малопотужний вихідний сигнал, здатний перемістити тільки стрілку відносно шкали, і відсутність зворотного зв'язку. Приклади таких приладів – логометри, вольтметри, амперметри тощо.

Найбільше промислове поширення отримали електричні вимірювальні прилади, які працюють за компенсаційним принципом з відповідними перетворювачами: з диференціально-трансформаторною і феродинамічною вимірювальними схемами; з автоматичними мостовими схемами (мости змінного

струму і потенціометри). Дані прилади часто називають *вторинними приладами*.

Дія автоматичних вторинних приладів (рис. 8.1) заснована на тому, що вимірювана величина, яка формується за допомогою первинного перетворювача (ПП) і передається на прилад у вигляді сигналу $E_{вх}$, компенсується протифазним сигналом $E_{к}$, який утворюється в самому приладі за допомогою зворотного зв'язку, реалізованого за допомогою компенсаційного перетворювача (КП).

Для реалізації вказаного принципу автоматичні вторинні прилади містять вимірювальну схему, показану на рис 8.1 як елемент порівняння (ЕП), фазочутливий підсилювач (ФП), реверсивний двигун (РД), компенсаційний перетворювач (КП) і систему реєстрації показань (стрілка, записуючий пристрій, шкала).

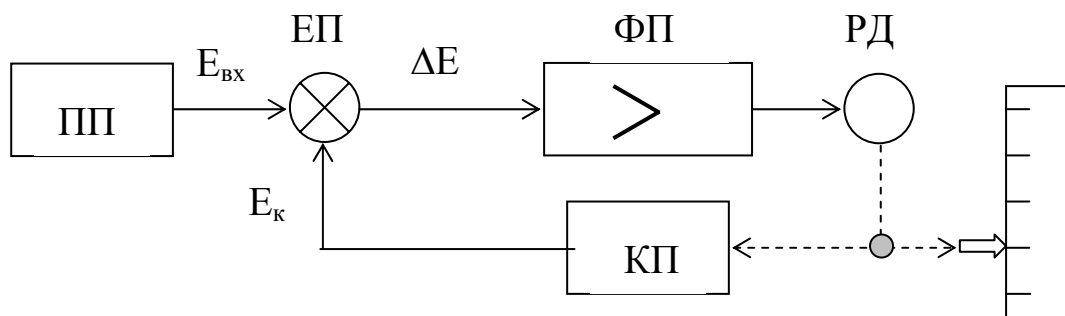


Рис. 8.1. Функціональна схема вторинних приладів.

Робота приладів проста, розглянемо її детальніше, оскільки вона справедлива для всіх видів вторинних компенсаційних приладів.

У початковому стаціонарному стані величини сигналів $E_{вх} = E_{к}$, тобто $\Delta E = 0$, оскільки сигнали знаходяться у протифазі. Ротор двигуна нерухомий. При зміні вхідного сигналу на елементі порівняння виникає розузгодження ΔE , яке після підсилення управляє роботою двигуна. Останній в залежності від фази сигналу переміщує робочий елемент компенсаційного перетворювача в ту або іншу сторону доти, поки не настане рівність сигналів $E_{вх} = E_{к}$. Сигнал, що керує двигуном, зникає, ротор РД і показуюча стрілка приладу зупиняється в новому положенні, фіксуючи нове значення контрольованого параметра.

Вторинні прилади випускаються з метою прямого показування результатів вимірювань і їх фіксації самописцями. Такі прилади можуть обладнуватися одним або декількома додатковими пристроями: контактними групами, що використовуються для сигналізації або найпростішого релейного регулювання, перетворювачами переміщення для передачі інформації на додатковий вторинний прилад або на регулятор, інтеграторами (лічильниками). Деякі прилади мають вбудовані пневматичні регулятори.

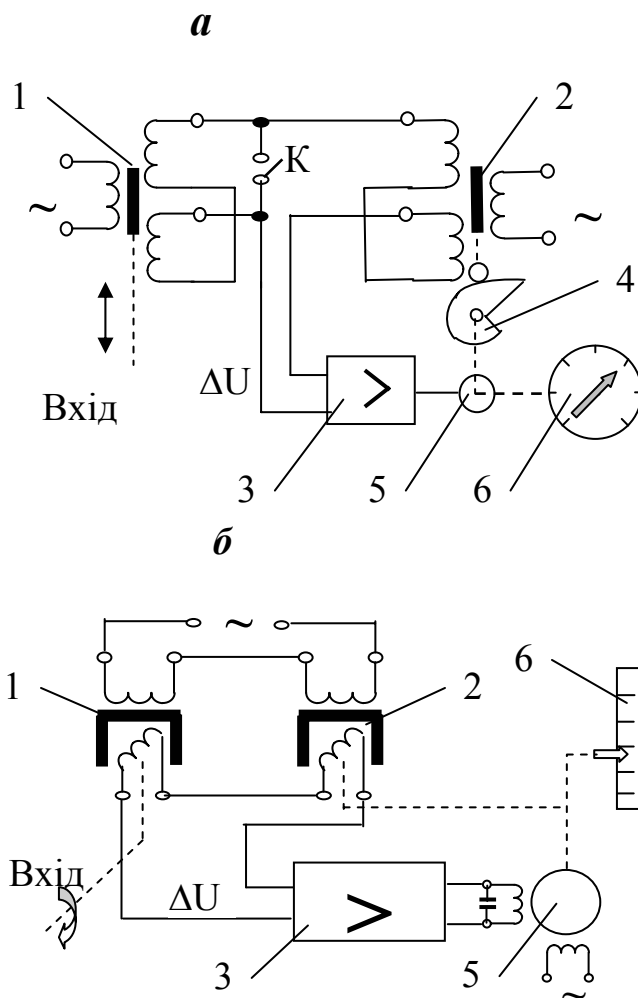


Рис. 8.2. – Принципова схема вторинних приладів КСДЗ (а) і ВФСМ (б):

1 – первинний перетворювач переміщення; 2 – компенсаційний перетворювач; 3 – фазочутливий підсилювач; 4 – лекало; 5 – реверсивний двигун; 6 – пристрої реєстрації.

У динамічному відношенні вторинні прилади можна розглядати як аперіодичні ланки першого порядку, а у разі аналізу систем регулювання з інерційним об'єктом їх можна приймати за підсилювальну ланку.

Загальнопромислові вторинні прилади

Диференціально-трансформаторні і ферродинамічні вимірювальні прилади. Вимірювальні схеми цих приладів побудовані на диференціально-трансформаторних (рис. 8.2, а) і ферродинамічних (рис. 8.2, б) перетворювачах переміщення.

Типовим представником першої групи є поширені в промисловості прилади серії КСД. Друга група представлена приладами серії ВФС, що випускаються

Харківським заводом КВПіА. Вони забезпечені пристроями реєстрації контрольованих параметрів на дисковій або стрічковій діаграмі.

Функціонування цих приладів повністю відповідає розглянутому вище принципу.

Відзначимо наявність у схемі приладу КСД допоміжної кнопки (К), що служить для контролю справності приладу. При натисненні на кнопку шунтується ланцюг первинного перетворювача і двигун приладу приводить систему до стаціонарного режиму ($\Delta U = 0$), при цьому осердя компенсаційного перетворювача (2) переміщається в нейтральне положення, а стрілка займає строго певне положення, показуючи тим самим, що система приладу працездатна.

Автоматичні мости змінного струму. Працюють з первинними R-перетворювачами (терморезистори, фоторезистори, тензорезистори тощо). Зазначимо, що назва "мости змінного струму" показує, що мостова вимірювальна схема приладів живиться напругою змінного струму.

Загальний принцип роботи мостової вимірювальної схеми описаний у розділі 6. Розглянемо роботу автоматичного моста на прикладі вимірювання температури середовища за допомогою терморезистора.

На рис. 8.3 наведена спрощена схема контролю температури з допомогою терморезистора (R_t) і автоматичного моста змінного струму серії КСМ.

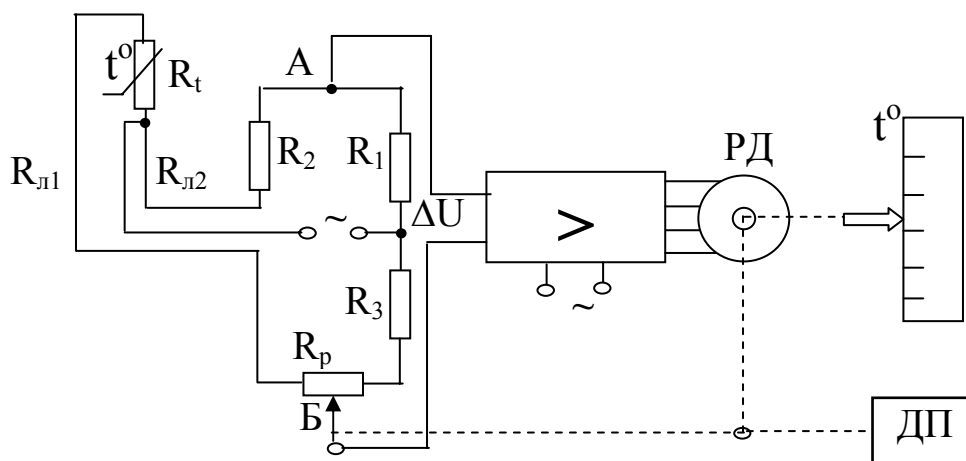


Рис. 8.3. Схема автоматичного моста змінного струму з терморезистором.

Мостова схема тут утворена резисторами: R_1 , R_2 , R_3 (активні резистори плечей моста), R_t (датчик температури, термо-резистор) і R_p (змінний резистор, що називається реохордом, повзунок якого переміщається двигуном РД).

Для ліквідації впливу опору проводів ($R_{л1}$), що залежить від температури навколишнього середовища, підключення термо-датчика здійснюється по трипровідній лінії. Тим самим $R_{л1}$ і $R_{л2}$ виявляються в протилежних плечах моста, і їх зміна не впливає на його рівновагу.

Робота приладу. При зміні контрольованої температури (варіює величина R_t) міст стає неврівноваженим, між точками "А" і "Б" виникає напруга (ΔU), яка після підсилення управляє реверсивним двигуном (РД), ротор останнього переміщує повзунок реохорда (R_p), отже, і точку "Б" до встановлення рівноваги моста ($\Delta U=0$). Кінематично пов'язані з ротором двигуна реєструючі елементи приладу (стрілка, перо) вказують нове значення температури.

У деяких модифікаціях приладу є вбудований додатковий перетворювач (ДП), пов'язаний з ротором двигуна, який слугує для передачі інформації в систему регулювання.

Автоматичні потенціометри. Служать для контролю малих значень напружень (ерс) постійного струму. Як первинний датчик можуть застосовуватися термопари, п'єзоперетворювачі тощо. На рис. 8.4 подана схема підключення термопари до автоматичного потенціометра типу КСП.

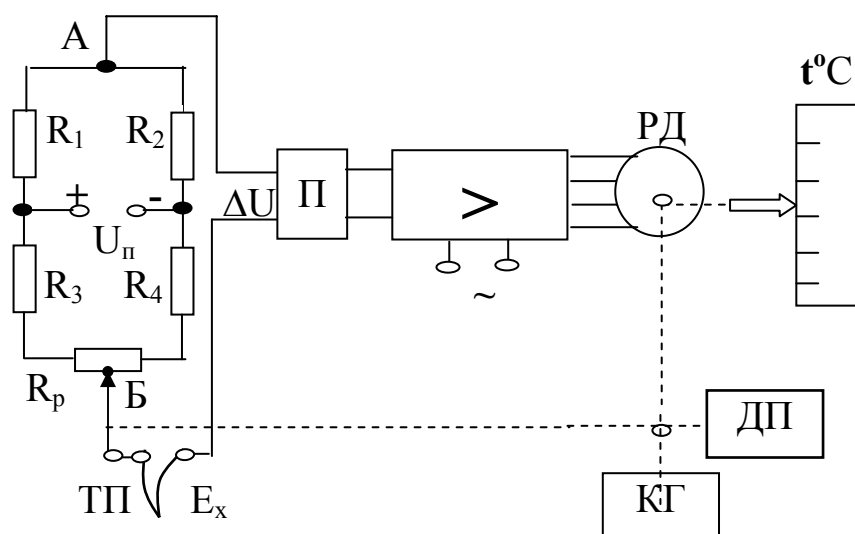


Рис. 8.4. Схема автоматичного потенціометра з термопарою.

Вимірювальна схема складається з моста постійного струму зі стабілізованим джерелом живлення і послідовно з ним підключеної термопари (ТП).

Для забезпечення можливості використання підсилювача змінного струму постійна напруга (ΔU), що знімається з вимірювальної схеми, за допомогою перетворювача (П) формується в змінну.

Зі схеми видно, що на вхід перетворювача подається напруга:

$$\Delta U = U_{AB} - E_x,$$

де U_{AB} – напруга, що знімається з діагоналі моста;

E_x – напруга, що виробляється термопарою.

Функціонування приладу пояснюється схемою. Принцип компенсації тут реалізований шляхом формування в діагоналі моста компенсуючої напруги (U_{AB}), включеної назустріч термоерс (E_x).

На схемі показані додатковий перетворювач (ДП), сигнал якого може використовуватися в системі регулювання, і контактна група (КГ) для сигналізації, блокування і релейного регулювання, які вбудовуються в деякі модифікації потенціометрів типу КСП.

На завершення зазначимо, що в розвитку аналогових вторинних приладів спостерігаються дві тенденції: це створення більш простих, малогабаритних, але надійних і дешевих приладів для АСУТП, де вони виконують роль зручних для оператора пристроїв надання інформації і зв'язуючих елементів між датчиками і ЕОМ, та створення високоточних, швидкодіючих і багатограничних вторинних приладів для дослідження об'єктів.

8.2. Промислові керуючі пристрої

Для ефективного використання отриманої від вимірювальної системи інформації про об'єкт управління необхідно її проаналізувати, виробити по певних алгоритмах відповідні команди і передати їх до об'єкта для безпосереднього формування керуючих впливів у конкретній фізичній формі. Всі

ці операції повинні здійснюватися в необхідному темпі (швидкодії), що задається ходом технологічного процесу.

Якісний і кількісний склад технічних засобів цієї групи головним чином і визначає рівень автоматизації об'єкта.

У залежності від функцій, що виконуються технічними засобами при переробці інформації, канал управління може бути зображений узагальненою функціональною схемою, наведеною на рис. 8.5. У конкретному каналі управління ряд засобів можуть бути відсутніми.

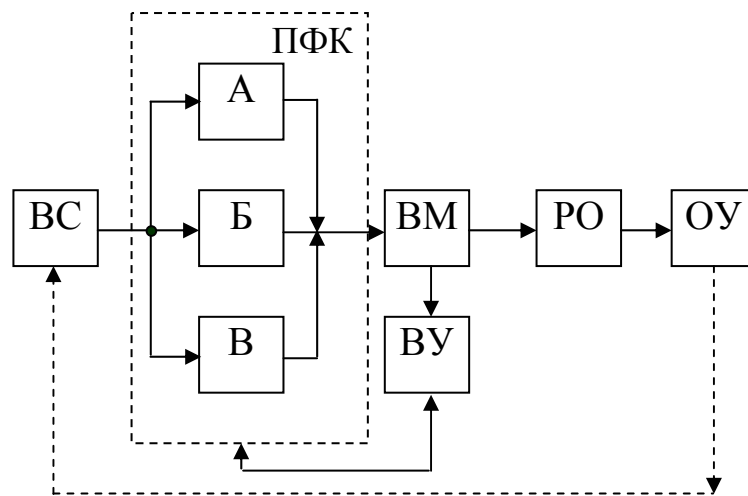


Рис. 8.5. Узагальнена функціональна схема каналу управління.

Отримана у вимірювальній системі (ВС) контрольна інформація про об'єкт управління (ОУ) спрямовується до групи пристроїв формування команд (ПФК) управління. Сигнали команд управління за допомогою виконавчих механізмів (ВМ) перетворюються у величини, зручні для впливу на регулюючі органи (РО) конкретних технологічних апаратів. Наприклад, електричний командний сигнал включає електропривод, що впливає на дросельну засувку, яка змінює витрату рідини. З допомогою РО змінюються величини потоків матеріалу, енергії і т. п. в об'єкті управління, що приводить до відповідного коректування ходу технологічного процесу.

У залежності від рівня автоматизації в ПФК можна виділити технічні засоби відповідних рівнів управління. До засобів (В), що представляють нижній рівень управління,

належать регулюючі пристрої місцевих (локальних) і автономних систем регулювання. Засоби (Б) вищого рівня управління включають у себе пристрої агрегованих комплексів централізованих систем управління, що здійснюють регулювання взаємопов'язаних об'єктів.

Керуючі команди найвищого рівня (А) формуються за допомогою обчислювальних машини і мікропроцесорних комплексів. Їх наявність відповідає створенню на підприємстві автоматизованої системи управління.

Керуючі команди на виконавчі механізми (ВМ і РО) можуть подаватися як безпосередньо із засобів верхнього рівня управління, так і через засоби більш низьких рівнів, коректуючи їх роботу.

Вибір режимів роботи ПФК і ВМ, контроль їх стану і справності здійснюється групою допоміжних пристроїв (ДП). У складних системах управління сюди може входити мікропроцесорна техніка, у найпростіших локальних системах (САР) це можуть бути ключі вибору режиму управління ("Місцеве", "Автоматичне") і дистанційні покажчики положення робочого органу виконавчого механізму.

Розглянемо детальніше схему управління складними об'єктами за допомогою ЕОМ (рис. 8.6.).

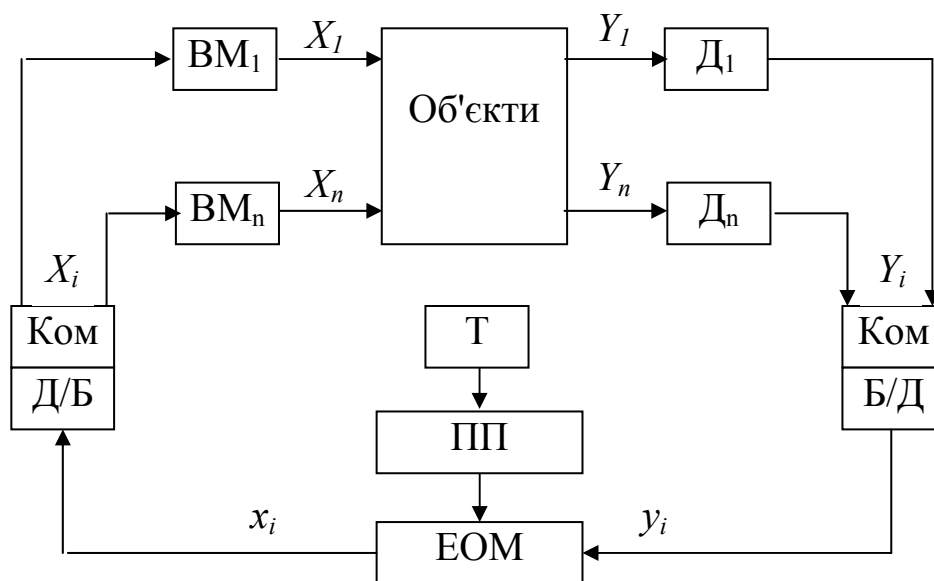


Рис. 8.6. Структурна схема управління з допомогою ЕОМ.

На вхід ЕОМ від датчиків (D_i) надходить вимірювальна інформація про поточні значення вихідних величин Y_1, \dots, Y_n об'єктів управління. Після перетворення сигналів з безперервних у дискретні (Б/Д) аналог-код ЕОМ обробляє ці сигнали y_i згідно з вибраним законом (алгоритмом) управління для отримання командної інформації x_i , яка після зворотного перетворення (Д/Б) подається через виконавчі механізми (ВМ) на входи об'єктів X_1, \dots, X_n .

Перетворювачі безперервних величин у дискретні (цифрові), і навпаки, роблять багатоканальними з використанням комутатора (КОМ), який послідовно оббігає датчики (або ВМ). Поширений принцип синхронного зв'язку ЕОМ з об'єктами, при якому процес управління розбивається на періоди (цикли) рівної тривалості такт-імпульсами від електронного таймера (Т).

На початку чергового циклу, з приходом такт-імпульсу на пристрій переривання (ПП), відбувається оббігаюче опитування датчиків (з перетворенням сигналів в цифрову форму) і введення цифрових сигналів у оперативну пам'ять ЕОМ. По відношенню до окремого датчика його вихідний безперервний сигнал квантується за рівнем і за часом.

Після введення вимірювальної інформації y_i в пам'ять, ЕОМ обчислює керуючі команди x_i , і видає їх на управління. Безпосереднє цифрове управління має місце при подачі команд (через ВМ) на вхід об'єкта.

Для складних технологічних процесів команди управління від ЕОМ подаються на зміну завдань локальних САР (і, можливо, на установку оптимальних налаштувань регуляторів локальних САР). При такій структурі працездатність системи управління зберігається і при відмовах ЕОМ.

Крім розглянутої роботи ЕОМ в замкненій системі управління (за відхиленням), можливе управління по розімкненій схемі за принципом програмного управління (ЕОМ виробляє програму команд x_i на вході об'єкта без поточних вимірювань вихідних величин y_i і в режимі "порадника" видає оператору команди).

На закінчення зазначимо, що ЕОМ надзвичайно ефективна при реалізації будь-яких алгоритмів управління, іншими

словами, ЕОМ – універсальний регулятор, що змінює закони регулювання шляхом заміни програми алгоритму.

У той же час на збагачувальних фабриках функціонують локальні САР технологічних параметрів, в яких використовують стабілізуючі регулятори різних схем і конструкцій. З електричних треба відмітити регулятор типу Р-25, що реалізовує всі закони регулювання.

8.3. Виконавчі механізми і регулюючі органи

Вплив на технологічні процеси як при дистанційному, так і при автоматичному управлінні здійснюється виконавчими механізмами і зв'язаними з ними регулюючими органами (див. рис. 2.1).

Виконавчі механізми (ВМ).

За видом споживаної енергії виконавчі механізми поділяють на електричні, пневматичні і гідравлічні. Найбільше поширення отримали електричні ВМ. Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми застосовуються у разі необхідності отримання великої потужності при переміщенні робочого органу.

Електричні виконавчі механізми можуть бути контактними і безконтактними. Пусковим пристроєм контактного виконавчого механізму є реверсивний магнітний пускач, безконтактного – магнітний підсилювач.

У загальному випадку *електричні виконавчі механізми* складаються з наступних основних елементів: реверсивного електродвигуна; редуктора, що знижує частоту обертання вихідного вала; вихідного елемента, що передає зусилля або крутний момент регулюючому органу; додаткових пристроїв (кінцевих вимикачів), що забезпечують зупинку виконавчого механізму в крайніх положеннях; пристроїв зворотного зв'язку для роботи в системах автоматичного регулювання або для дистанційного показу положення вихідного елемента виконавчого механізму; штурвал ручного привода (деякі модифікації).

У залежності від модифікації цих ВМ у них використовуються двофазні конденсаторні електродвигуни з порожнистим ротором, що мають добрі динамічні характеристики і допускають тривалу роботу в застопореному режимі при повній напрузі живлення, а також трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором (для виконавчих механізмів великої потужності).

Як пристрій зворотного зв'язку застосовують реостатні, індуктивні і феродинамічні перетворювачі переміщення.

Показчики положення вихідного вала, що комплектуються з деякими електричними ВМ, являють собою стрілочні прилади зі шкалою 0-100%.

Найбільше поширення в збагачувальній промисловості отримали електричні ВМ типу МЭО та ИМ 2/120.

На рис. 8.7 показано приклад управління виконавчим механізмом.

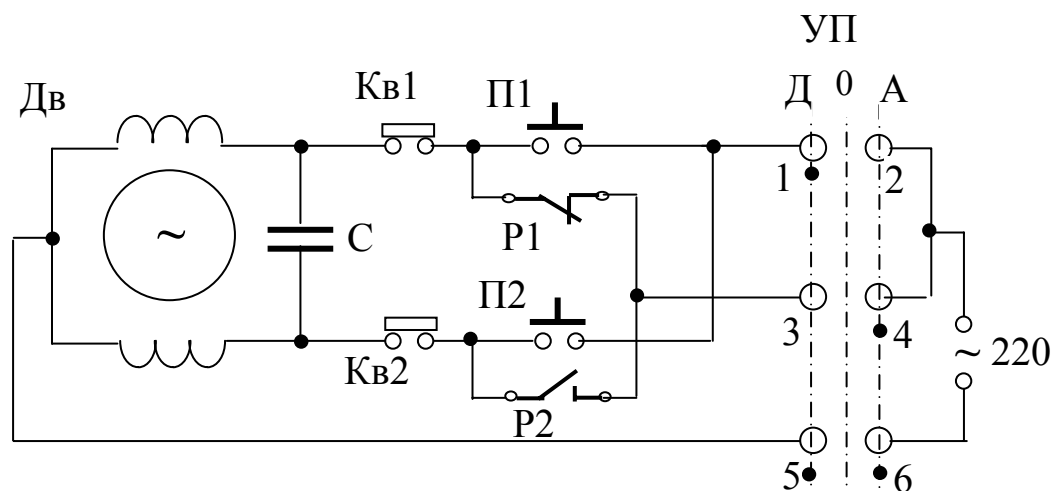


Рис. 8.7. Схема управління виконавчим механізмом ИМ 2/120.

При розробці схеми управління ВМ необхідно передбачати три режими роботи: дистанційний (Д), вимкнено (0) і автоматичний (А).

Вибір режиму здійснюється за допомогою різних комутаційних пристроїв, наприклад, універсального перемикача (УП), що має відповідні три положення рукоятки перемикання. Для читання подібних схем необхідно засвоїти, що контакти УП можуть замикатися тільки горизонтальними групами 1 - 2; 3 - 4 і

5 - 6, яка група замкнена і в якому режимі показує точка, розташована на вертикальній осі. Наприклад, у дистанційному режимі (Д) замикаються групи контактів 1 - 2 і 5 - 6 (рис. 8.7).

На схемі управління також показані кінцеві вимикачі (Кв1 і Кв2), що знеструмлюють живлення двигуна в крайніх положеннях вихідного вала, пускові кнопки, що працюють у дистанційному режимі, при цьому потрібно врахувати, що реверс вала двигуна здійснюється подачею напруги на одну (кнопка П1) або другу (П2) обкладку фазозсувного конденсатора (С). Схема включає і контактні групи (Р1 і Р2), які розташовані в регулюючому пристрої і керують виконавчим механізмом в автоматичному режимі (А).

Для управління трифазним виконавчим механізмом необхідне використання реверсивного магнітного пускача.

Пневматичні виконавчі механізми (ПВМ). Поділяються на мембранні і поршневі.

У мембранному виконавчому механізмі переміщення вихідного штока в одному напрямі створюється тиском стислого повітря в мембранній порожнині, а в іншому – силою стислої пружини (пружинні мембранні виконавчі механізми). Ці механізми мають вихідний шток з поворотно-поступальним рухом, як правило, конструктивно пов'язаний з регулюючими органами. У залежності від напрямку руху штока при підвищенні тиску повітря у мембранній порожнині розрізняють механізми прямої і зворотної дії.

У поршневих виконавчих механізмах зусилля, що переміщує вихідний шток, створюється тиском робочого середовища в поршневих порожнинах. У порівнянні з мембранними вони мають більшу величину переміщення вихідного штока.

Регулюючі органи (РО)

Регулюючі органи звичайно входять до складу об'єктів регулювання і впливають на протікаючі в них процеси шляхом зміни в основному витрат продуктів.

Для зміни витрат сипучих матеріалів звичайно використовуються живильники - вібраційні, хитні, пластинчаті, стрічкові, шибєрні заслінки, роторні, гвинтові, тарільчасті (дискові) і інші.

Витрати рідких і газоподібних продуктів змінюються за допомогою дросельних заслінок, запорно-регулюючих вентилів, шиберів, шлангових затворів, варіаторів частоти обертання робочих органів насосів, вентиляторів і димососів.

Для зміни малих витрат, наприклад, реагентів і флокулянтів, використовують дозатори, що називають живильниками реагентів.

Контрольні запитання:

1. Роз'ясніть призначення вторинних приладів.
2. Опишіть класифікацію вторинних приладів.
3. Виконайте узагальнюючу функціональну схему вторинних приладів.
4. Наведіть схеми і поясніть принцип роботи загально-промислових вторинних приладів.
5. Поясніть принципи використання ЕОМ при автоматизації технологічних процесів.
6. Наведіть класифікацію виконавчих механізмів.
7. Складіть спрощену схему управління електричним виконавчим механізмом.
8. Перерахуйте основні види регулюючих органів.

Література до теми: [2], [3], [4], [6].

9. ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Склад схем автоматизації процесів. Правила виконання схем. Принципи побудови умовних позначень елементів автоматики. Державний стандарт на буквені і графічні позначення приладів та їх функціональних ознак.

Загальні положення

Автоматизацію технологічного процесу потрібно впроваджувати поетапно, починаючи з розробки схем автоматизації процесів.

Автоматичний контроль і управління технологічними процесами повинні поліпшувати їх техніко-економічні показники. Ефективність автоматизації в кожному окремому випадку визначається конкретно розрахунками з урахуванням індивідуальних особливостей процесу, що автоматизується, але існує ряд загальних вимог, які повинна задовольняти будь-яка система автоматизації і які потрібно враховувати при розробці схем автоматизації. До цих вимог потрібно віднести:

- максимальну простоту, тобто мінімальну в межах технічної і економічної доцільності кількість функцій, що виконуються системою, і мінімальну кількість машин, приладів, пристроїв та з'єднувальних проводів, що входять у систему;
- гнучкість, тобто простий і швидкий перехід від автоматичного управління до ручного, і навпаки, можливість управління з декількох місць;
- чіткість дії як при нормальних, так і аварійних режимах, будь-яке пошкодження в системі не повинно супроводжуватися подальшим розвитком аварії;
- використання типових засобів збору, передачі і переробки інформації, типових регуляторів, що випускаються в досить широкому асортименті приладобудівною промисловістю.

Крім того, виходячи з вимог працездатності і якості регулювання, автоматичні системи регулювання, що входять у схеми автоматизації, повинні відповідати таким вимогам:

- володіти самовирівнюванням і стійкістю, тобто здатністю повертатися в положення рівноваги після припинення дії причин, що вивели систему з цього стану;
- помилки відтворення керуючих впливів або відхилення регульованих величин через дію збурень не повинні перевищувати допустимих значень;
- помилка у регульованій величині, коли це пов'язано вимогами технологічного процесу, повинна бути в технічно і технологічно допустимих межах;
- перехідний процес протягом часу регулювання повинен бути оптимальним;
- найбільше відхилення регульованої величини від заданої в ході процесу не повинно бути більшим від певної допустимої величини, що залежить від технологічних особливостей процесу.

Якщо перехідний процес у системі має коливальний характер, то можуть висуватися вимоги щодо обмеження амплітуди або частоти коливань.

Схеми автоматизації технологічних процесів є основними технічними документами, які визначають структуру і масштаб автоматизації промислових об'єктів, початковими даними для проектування систем управління.

Схеми автоматизації включають технологічну схему, що містить основні технологічні апарати і машини, зображену в спрощеному варіанті і розташовану у верхній частині листа, і засоби автоматизації, що входять до складу систем контролю, регулювання, які наносять на схему за допомогою умовних графічних позначень і ліній зв'язку.

Схеми автоматизації, що проектуються, повинні враховувати вимоги технології і її особливості, тому в їх розробці обов'язково повинні брати участь технологи зі збагачення корисних копалин. Це підкреслює важливість даного розділу для студентів-збагачувальників.

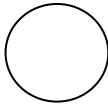
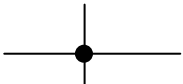
Правила виконання і читання схем автоматизації

При автоматизації технологічних процесів використовується велика група приладів і засобів автоматизації, за допомогою яких здійснюють вимірювання, регулювання, управління і сигналізацію. При розробці схем автоматизації доцільно позначати елементи автоматики символічно.

Раніше для зображення схем автоматизації технологічних процесів (їх називали функціональними схемами авто-

матизації) використали ОСТ 36-27-77. Сьогодні застосовують позначення, встановлені ГОСТ 21.404-85 "Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах", основні позначення наведені в табл. 9.1.

Табл. 9.1. Умовні графічні позначення приладів і засобів автоматизації

№	Назва	Позначення
1.	Прилад, встановлений поза щитом, пультом (за місцем) - основне позначення	
2.	Прилад, встановлений на щиті, пульті	
3.	Виконавчий механізм	
4.		
5.	Перетин ліній зв'язку без з'єднання	
6.	Перетин ліній зв'язку із з'єднанням між собою	
7.	Регулюючий орган	
8.	Лампа сигнальна	
9.	Звукова сигналізація дзвінок гудок	

Для всіх постійно підключених приладів обраний пристрій зображають суцільною тонкою лінією, що з'єднує технологічний трубопровід або апарат з приладом (рис. 9.1, а). Коли потрібно

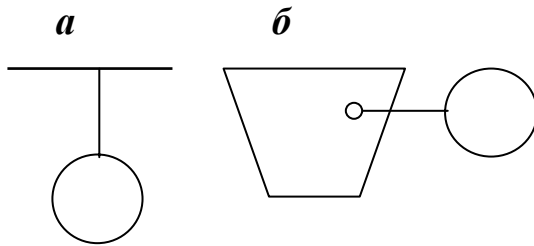


Рис. 9. 1. Приклад відображення обраного пристрою на схемі автоматизації.

вказати конкретне місце розташування обраного пристрою (всередині контура технологічного апарату), його позначають колом діаметром 2 мм (рис. 9.1, б).

Часто виникає необхідність на схемах автоматизації вводити умовні графічні позначення електро-

апаратури (сигнальні лампи, дзвінки, сирени, гудки, електродвигуни тощо), які повинні відповідати стандартам ЕСКД.

Для повного позначення приладу або засобу автоматизації на схемах в його умовне графічне позначення у вигляді кола або овала вписують умовне буквене позначення, що визначає призначення, робочі функції і особливості роботи засобів автоматизації.

Функції, що виконуються приладом, позначають за допомогою букв (табл. 9.2).

У стандарті передбачені додаткові буквені позначення, що застосовуються для інформування про додаткові функціональні ознаки приладів, перетворювачів і обчислювальних пристроїв (табл. 9.3).

У таблиці 9.4 наведено основні буквені позначення вимірюваних величин. Ці букви в умовному позначенні приладів і засобів автоматизації стоять першими.

Загальний принцип побудови умовного позначення приладу автоматики показано на рис. 9.2.

У відповідності з ГОСТ 21 404-85, побудову умовних позначень приладів і засобів автоматизації можна виконати двома способами: спрощеним і розгорненим.

Прилади і засоби автоматизації, які здійснюють функції вимірювання, регулювання, сигналізації і виконані у вигляді окремих блоків, для спрощення на схемах подають одним умовним позначенням. При цьому первинні вимірювальні перетворювачі і допоміжну апаратуру не зображають.

При розгорненому методі побудови умовних зображень кожний прилад, блок, вхідний, регулюючий або керуючий комплект засобів автоматизації зображують окремим умовним позначенням.

**Табл. 9.2. Буквені умовні позначення функцій,
що виконуються приладом**

Позначення	Функціональні ознаки приладу		
	Відображення інформації	Формування вихідного сигналу	Додаткове значення сигналу
A	Сигналізація	-	-
C	-	Автоматичне регулювання, управління	-
H	-	-	Верхня межа
I	Показання приладу		-
L	-	-	Нижня межа
R	Реєстрація	-	-
S	-	Включення, відключення, переключення	-

Табл. 9.3. Додаткові буквені позначення функціональних ознак приладів

Позначення	Назва	Призначення
E	Чутливий елемент	Пристрої для первинного перетворення: термопари, терморезистори, датчики пірометрів, звужувальні пристрої витратомірів тощо
T	Дистанційна передача	Прилади безшкальні з дистанційною передачею сигналу, манометри
K	Станція управління	Прилади, що мають перемикач виду управління ("автоматичне", "вимкнуто", "ручне")
Y	Функції для обчислення	Для побудови і позначення перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв

Табл. 9.4. Основні буквені позначення вимірюваних величин

Позначення	Вимірювана величина	
	Основна назва вимірюваної величини, основне значення першої букви в позначенні	Додаткова назва, що уточнює вимірювану величину
D	Густина	Різниця, перепад
E	Будь-яка електрична величина	-
F	Витрати	Співвідношення, частка
G	Розмір, положення, переміщення	-
H	Ручний вплив, задана величина	-
J	-	Автоматичне переключення, огинання
K	Час, часова програма	-
L	Рівень	-
M	Вологість	-
P	Тиск, вакуум	-
Q	Величина, яка характеризує якість (зольність, концентрація)	Інтегрування, додавання в часі
R	Радіоактивність	-
S	Швидкість, частота	-
T	Температура	-
U	Декілька різних вимірюваних величин	-
V	В'язкість	-
W	Маса	-

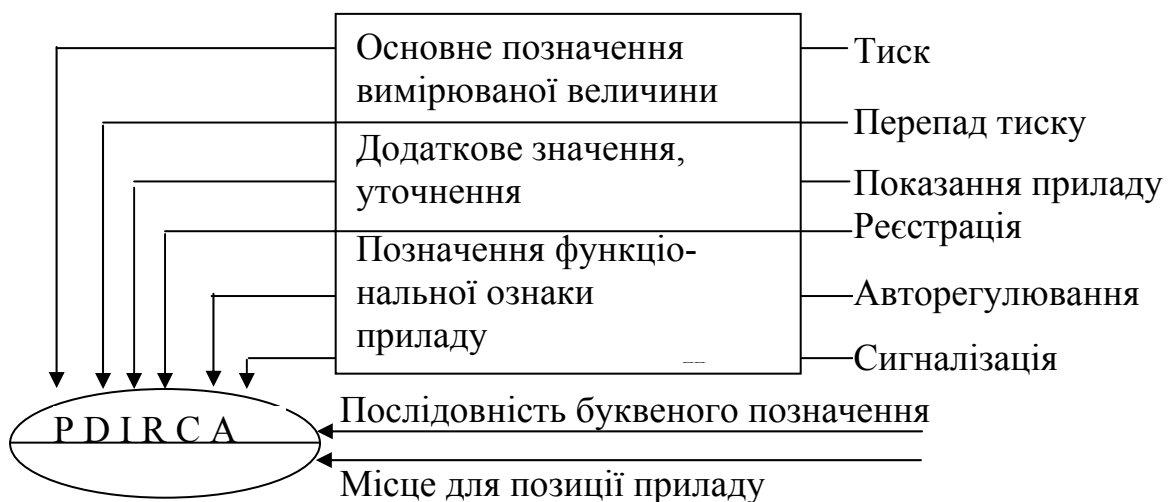


Рис. 9.2. Принцип побудови умовного позначення приладу.

Приклад фрагмента схеми автоматизації при різних методах позначень засобів автоматизації наведено на рис. 9.3.

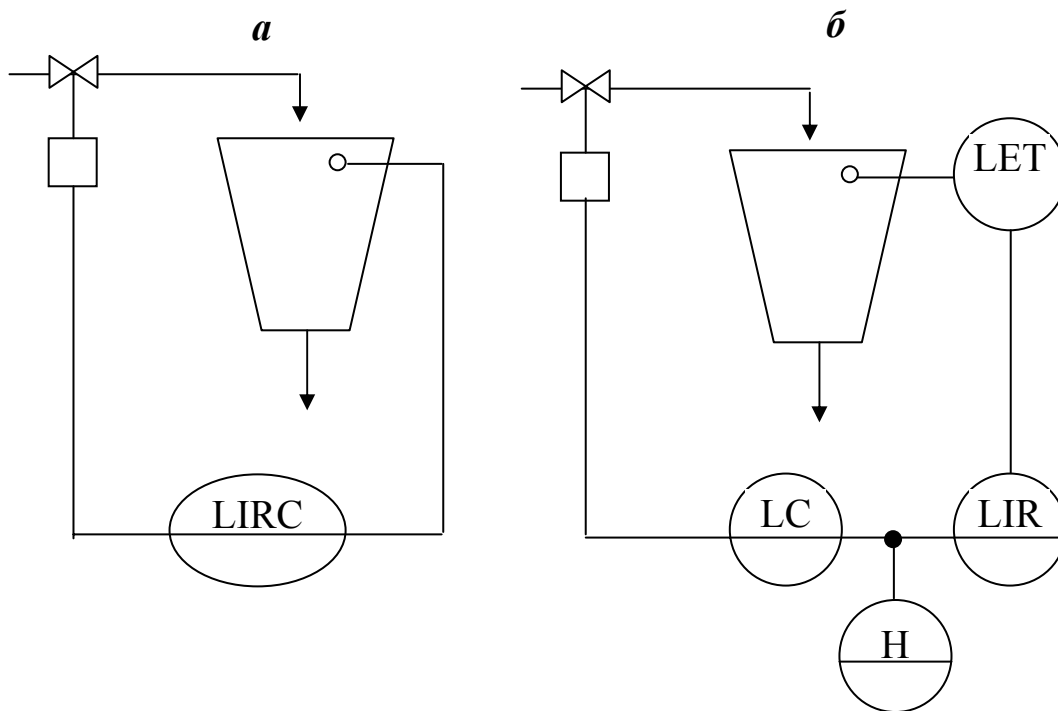


Рис. 9.3. Приклад побудови спрощеної (а) і розгорнутої (б) схеми автоматизації рівня середовища у об'єкті.

На схемі "а" всі елементи системи контролю і регулювання рівня умовно зібрані в єдиний елемент (LIRC), на схемі "б" показані чутливий елемент первинного датчика рівня з перетворювачем і дистанційною передачею показань приладів (LET), реєструючий вторинний прилад (LIR), регулятор рівня (LC) і задатчик (H). Тут первинний датчик рівня (LET) розташовується за місцем (на об'єкті), а нижні прилади – на пульті (на приладах показано горизонтальний діаметр).

Підведення лінії зв'язку до приладу здійснюють в будь-якій точці графічного позначення (зверху, знизу, збоку). Якщо необхідно вказати напрям передачі сигналу, то на лінії зв'язку наносять стрілки.

Таким чином, умовні позначення приладів і засобів автоматизації, що застосовуються в схемах автоматизації, включають графічні, буквені і цифрові позначення (на рис. 8.3 цифрові позначення позиції приладів не показані). При цьому у верхню частину графічного зображення (коло, овал) вписують буквене позначення вимірюваної величини і функціональної

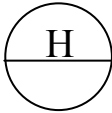


ознаки приладу, що визначають його значення, а в нижню частину вписують позиційне позначення приладу або комплекту засобів автоматизації.

В умовному буквеному позначенні прийнято наступний порядок розташування букв: основне позначення вимірюваної величини; позначення функціональних ознак приладу.

У системах автоматичного контролю, регулювання і управління широко використовують пристрої ручного управління: ключі управління для вибору роду роботи системи (автоматичне, ручне, вимкнено), кнопки ("Більше", "Менше"), перемикачі, задатчики і ін. Буквені позначення таких пристроїв, виконаних у вигляді блоків і призначених для ручних операцій, незалежно від того, до складу якого компонента вони входять, повинні починатися з букви Н. У табл. 9.5 наведено приклади умовних позначень таких пристроїв.

У табл. 9.6 показано приклади побудови і читання умовних позначень приладів для контролю різних технологічних параметрів.

Табл. 9.5. Умовні позначення пристроїв ручного управління

Умовні позначення пристрою на схемі	Характеристика умовного позначення пристрою
	Апаратура, призначена для ручного управління (включення, відключення двигуна, задання регулятора)
	Ручний перемикач (вибір режиму роботи системи регулювання)
	Апаратура для ручного управління, обладнана пристроєм сигналізації і встановлена на щиті, наприклад, кнопка з вбудованою лампочкою

Особливості виконання і читання схем автоматизації

У верхній частині поля креслення зображують технологічне обладнання і комунікації у спрощеному вигляді, без зазначення технологічних апаратів і трубопроводів допоміжного призначення. На технологічних трубопроводах показують ту регулюючу і запірну арматуру, яка бере безпосередню участь у контролі й управлінні процесом. Технологічні апарати і трубопроводи на схемі автоматизації зображують відповідно до вимог стандартів.

Табл. 9.6. Приклади позначень приладів контролю параметрів

Умовні позначення пристрою на схемі	Характеристика умовного позначення пристрою
	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури, встановлений за місцем (термопара, терморезистор)
	Прилад контролю температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань, встановлений за місцем, наприклад, термометр манометричний безшкальний
	Регулятор тиску, безшкальний, встановлений за місцем, наприклад, регулятор прямої дії
	Прилад для вимірювання тиску, безшкальний, з контактним пристроєм, наприклад, реле тиску, (включення, виключення), встановлений за місцем
	Прилад для вимірювання тиску, зі шкалою, контактним пристроєм, встановлений за місцем, наприклад, шкальний манометр з електричними контактами
	Пускова апаратура (магнітні пускачі, контактори і ін.)
	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> H L </div> Прилад для вимірювання рівня, шкальний, з сигналізацією, верхнього та нижнього рівнів, встановлений на щиті
	Комплект для вимірювання і регулювання температури, шкальний, реєструючий, зі станцією управління, встановлений на щиті, наприклад, вторинний прилад КСП з вбудованим регулятором
	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> pH </div> Комплект для вимірювання і регулювання якості (pH середовища), шкальний, реєструючий, встановлений на щиті

Якщо автоматизований вузол містить декілька однотипних машин, то на схемі показується одна машина.

Прилади, засоби автоматизації на схемах автоматизації технологічних процесів показують за ГОСТ 21.404-85.

Щити і пульти систем контролю і регулювання технологічних процесів зображають на схемах у нижній частині поля креслення у вигляді прямокутників, розміри яких визначаються місцем, необхідним для зображення в них умовних графічних позначень приладів і засобів автоматизації, що на них встановлюються.

Керуючі машини і машини централізованого контролю (при їх наявності) зображають також у вигляді прямокутників і розташовують на полі креслення нижче за зображення щитів.

Рекомендується наступна послідовність розробки схеми автоматизації:

1. Ретельно вивчається технологічна схема автоматизованого вузла.
2. Визначаються основні об'єкти контролю і регулювання.
3. У кожному об'єкті виділяються технологічні чинники, які необхідно тільки контролювати.
4. Вибираються способи контролю технологічних чинників (безперервний, дискретний, з сигналізацією верхнього або нижнього значення, спосіб сигналізації тощо).
5. Визначаються чинники, які необхідно регулювати (стабілізувати).
6. Для кожного регульованого чинника вибирають вхідний канал управління, тобто визначають, варіювання якого параметра найбільш ефективно призведе до зміни регульованого чинника.

Контрольні запитання:

1. Сформулюйте загальні вимоги до систем автоматизації.
2. Опишіть склад схеми автоматизації процесів і основні правила її виконання.
3. Розробіть схему автоматизації об'єкта, де вихідними параметрами є рівень і густина суспензії.
4. Розробіть спрощену схему автоматизації теплотехнічного об'єкта (вихідні параметри – температура і вакуум у об'єкті).

Література до теми: [2], [3], [4].

10. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФЛОТО-ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ

Флотація як об'єкт автоматизації. Факторний взаємозв'язок процесу. Регулюючі, вихідні і збурюючі впливи. Схема автоматизації флотації. Параметри управління роботою вакуум-фільтра. Схема автоматизації, особливості.

10.1. Схема автоматизації вугільної флотації

Флотація – найбільш складний технологічний процес, що залежить як від керованих технологічних параметрів, так і від некерованих, що, як правило, носять випадковий характер. Об'єктом управління в цьому випадку є сам процес, апаратне оформлення якого включає апарат підготовки пульпи (АКП), флотаційні машини і живильники реагентів.

Вхідні впливи і вихідні параметри процесу вугільної флотації подано на рис. 10.1.

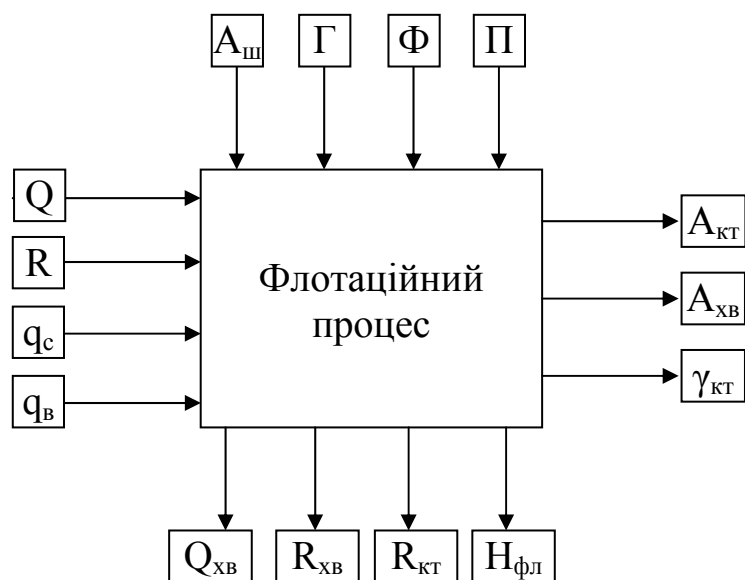


Рис.10.1. Управляючі, збурювальні і вихідні чинники процесу флотації.

метричний, фракційний і петрографічний відповідно (Γ , Φ і Π).

На рисунку вказано вхідні (регульовані) чинники: об'ємне навантаження на флотацію (Q), розрідження пульпи (R), витрату реагенту збирача (q_c) і спінювача (q_v).

До збурюючих впливів віднесено чинники: зольність початкового шламу ($A_{ш}$); грануло-

склад шламу від-

Основні вихідні параметри, що визначають ефективність процесу, представлені показниками: зольність і вихід концентрату ($A_{\text{кт}}$, $\gamma_{\text{кт}}$) та зольність хвостів флотації ($A_{\text{хв}}$).

Додатковими проміжними вихідними чинниками можуть служити рівень пульпи у ванні флотомашини ($H_{\text{ф}}$), розрідженість хвостів і концентрату ($R_{\text{хв}}$, $R_{\text{кт}}$) і об'ємний вихід хвостів флотації ($Q_{\text{хв}}$).

Виконаємо аналіз основних вхідних чинників, що істотно впливають на процес.

Об'ємне навантаження на флотаційну машину. Даний параметр визначає тривалість флотації і, отже, вилучення органічної маси в концентрат, якісні показники продуктів флотації. Крім того, від об'ємного навантаження залежить рівень пульпи у флотомашині. Отже, об'ємне навантаження на флотацію необхідно контролювати і регулювати (стабілізувати). При цьому стабілізується загальне навантаження на флотацію, а на кожну індивідуальну флотомашину навантаження встановлюється за допомогою затворів, розташованих на АКП (з урахуванням типу і механічного стану флотомашини). Відзначимо, що об'ємне навантаження в значній мірі визначає необхідну витрату реагенту-спінювача. Канал управління об'ємною витратою – дроселювання пульпи за допомогою засувки, встановленої на пульпопроводі.

Другий важливий параметр – вміст твердого продукту в пульпі. Практика показала, що коливання вмісту твердого в пульпі в межах 80 – 150 г/л істотно не впливає на ефективність процесу. Однак цей параметр визначає необхідну витрату реагенту-збирача. Пригадаємо механізми процесу флотації – збирач адсорбується на поверхні твердої фази (вугільної фракції). Отже, вміст твердого в пульпі необхідно контролювати і використати даний параметр для управління витратою реагенту-збирача. Якщо ж автоматизована схема флотує згущену пульпу, то не складе труднощів встановити систему регулювання її густини шляхом додання в процес технічної води.

Витрати реагентів – гнучкі і важливі канали управління процесом. Реагент-збирач потрібно дозувати пропорціонально величині поверхні твердої фази (вугільної). Однак автома-

тичний контроль даного параметра утруднений. Тому прийнятною є зміна витрати збирача пропорційно зміні вмісту твердого в пульпі, тобто стабілізувати питому витрату збирача (г/т). Отже, необхідно розробити систему контролю даного параметра. Це досягається шляхом перемноження контрольованих чинників – об'ємного навантаження ($\text{м}^3/\text{годину}$) і вмісту твердого в пульпі ($\text{т}/\text{м}^3$).

Витрата реагенту-спінювача впливає на ступінь аерації пульпи, крупність і стійкість повітряних бульбашок. Чим більше об'ємне навантаження на флотацію, тим більшою повинна бути витрата спінювача. Тож необхідно передбачити пропорційне регулювання витрати спінювача. Зміна витрати реагентів здійснюється за допомогою дозаторів реагентів, що містять робочий елемент для зміни витрати. На схемах автоматизації допускається умовно показувати дроселювання реагентного трубопроводу за допомогою поворотної заслінки.

Для управління процесом корисно знати поточні зольності продуктів флотації. У сучасній збагачувальній практиці автоматичні золоміри продуктів флотації практично відсутні, але якщо розглядати схему автоматизації як технічне завдання для проектування відповідним організаціям, наявність систем контролю зольностей продуктів у схемі правомірна.

У процесі роботи флотаційного відділення необхідно мати інформацію про рівні реагентів у робочих баках. Бажано в схемі передбачити хоча б дискретний контроль верхнього і нижнього рівнів реагентів у баках.

На процес флотації впливають і ряд інших чинників, наприклад, температура пульпи, рН середовища, гранулометричний і петрографічний склад шламів та ін. Однак їх регулювання або економічно не виправдане, або технічно нездійсненне.

На рис. 10.2 показано варіант схеми автоматизації процесу вугільної флотації.

На схемі спрощено зображена технологічна схема, що містить апарат кондиціонування пульпи (АКП), флотаційну машину, баки реагентів і трубопроводи з регулюючими органами (РО). При наявності декількох однотипних машин, які працюють

паралельно, показують одну машину (в цьому випадку - одну флотомашину). У нижній площині схеми розташовані засоби автоматики, встановлені на щиті (пульті).

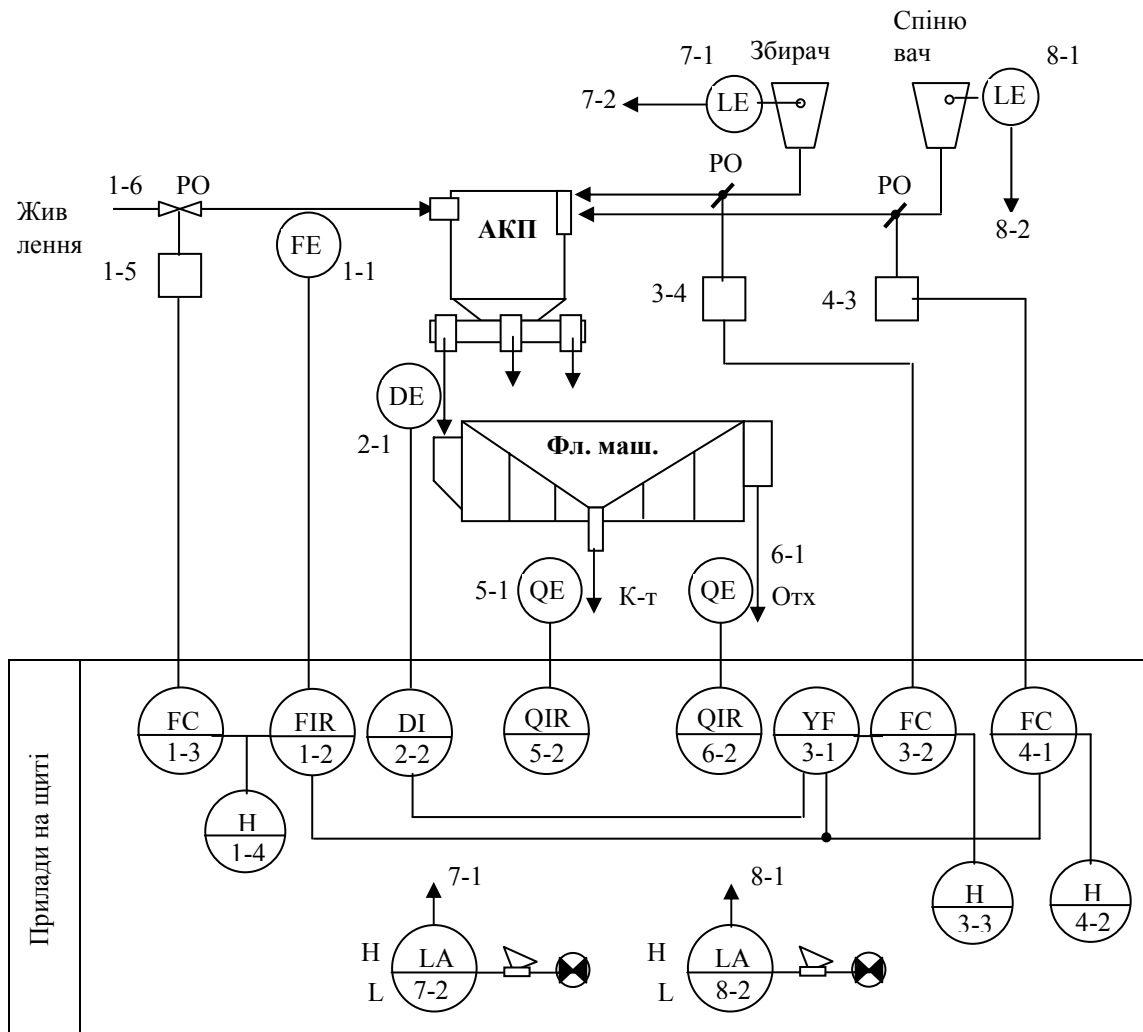


Рис. 10.2. Схема автоматизації процесу флотації вугілля.

Для спрощення схеми автоматизації на щиті не показані пускова апаратура, перемикачі режиму роботи САР.

У відповідності з виконаним аналізом у схему автоматизації включаються такі системи.

1. Система стабілізації об'ємного навантаження на процес (система 1), що містить первинний датчик витрати (поз. 1-1), вторинний показуючий і реєструючий прилад (1-2), регулятор витрати (1-3), задатчик (1-4), виконавчий механізм (1-5) і регулюючий орган (1-6), встановлений на живильному пульпопроводі.

2. Система контролю вмісту твердого в пульпі (система 2), що включає первинний датчик густини (2-1) і показуючий вторинний прилад (2-2).
3. Система дозування реагенту-збирача (система 3), яка містить блок перемноження параметрів (3-1), на який надходить інформація від вторинних приладів об'ємної витрати (1-2) і вмісту твердого в пульпі (2-2), регулятор витрати збирача (3-2) із задатчиком питомої витрати (3-3) і виконавчий механізм (3-4) із заслінкою (або живильник реагентів).
4. Система дозування реагенту-спінювача (система 4), що включає регулятор (4-1), куди надходить інформація про об'ємну витрату пульпи, задатчик (4-2) і живильник спінювача (4-3).
5. Системи контролю зольності концентрату (система 5) і відходів (система 6), які на даному етапі автоматизації представлені тільки вторинними приладами. Надалі ці системи можна розширити до рівня САР, яка відпрацьовує сигнал відхилення зольностей продуктів від заданих і відповідно змінює витрати реагентів.
6. Системи дискретного контролю з сигналізацією верхнього і нижнього рівнів реагентів у баках (системи 7 і 8). Для спрощення читання схеми в даних системах лінії передачі інформації умовно розірвані.

Аналіз роботи систем наведеної схеми проста, якщо пригадати буквені позначення технологічних параметрів і функціональних ознак приладів (розділ 9).

Потрібно зазначити, що наведена схема реалізує перший етап автоматизації. Надалі, при наявності надійно діючих первинних датчиків параметрів і алгоритмів управління, у схему автоматизації можна ввести централізований керуючий комплекс на базі мікропроцесорної техніки.

10.2. Схема автоматизації процесу зневоднення на вакуум-фільтрі

При розробці схеми автоматизації вакуум-фільтра потрібно враховувати, що процес фільтрації є допоміжним і завдання

фільтрувального відділення - приймати і зневоднювати весь флотаційний концентрат флотаційного відділення.

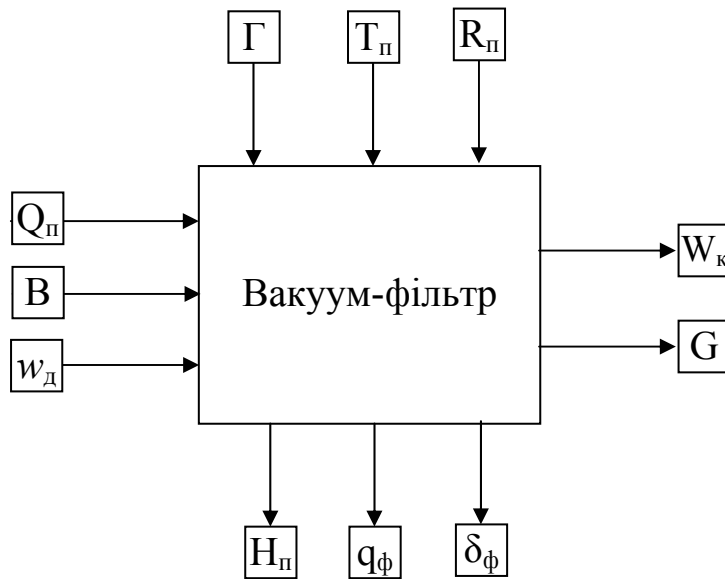


Рис. 10.3. Структура чинників процесу зневоднення на вакуум-фільтрі.

До проміжного вихідного параметра потрібно віднести рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра ($H_{п}$), який суттєво визначає його режим роботи.

Збурюючі впливи: гранулометричний склад концентрату (Γ), розрідженість і температура пульпи ($R_{п}$, $T_{п}$). Основними керуючими впливами на об'єкт прийняті об'ємне навантаження ($Q_{п}$), вакуум у дисках фільтра (B) і частота обертання дисків ($\omega_{д}$).

Зазначимо, що вакуум-фільтр як об'єкт автоматизації по каналу "навантаження на фільтр" - "рівень пульпи у ванні" з достатньою точністю можна представити реальною інтегруючою ланкою з незначним транспортним запізненням, а по каналу "частота обертання дисків" - "вологість кеку" – аперіодичною ланкою першого порядку.

З урахуванням викладеного розглянемо фрагмент схеми автоматизації процесу зневоднення флотоконцентрату на вакуум-фільтрі, наведений на рис. 10.4.

Тут спрощено зображена технологічна схема зневоднення флотоконцентрату, що включає збірний зумпф концентрату, насос, трубопровід з регулюючим органом. Вакуум-фільтр

На рис. 10.3 показана структура чинників вакуум-фільтра.

Основними вихідними параметрами є продуктивність фільтра по кеку і його вологість (G , $W_{к}$). Додаткові вихідні чинники – витрата і густина фільтрату ($q_{ф}$, $\delta_{ф}$).

До проміжного вихідного параметра потрібно віднести рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра ($H_{п}$), який суттєво визначає його режим роботи.

забезпечений приводом з регульованою частотою обертання (позиція 2-6).

Потрібно врахувати, що вакуум-фільтр є складним об'єктом управління, оскільки присутній істотний взаємозв'язок між різними чинниками.

Наприклад, частота обертання дисків вакуум-фільтра зумовлює, з одного боку, його продуктивність, з іншого, вологість кеку.

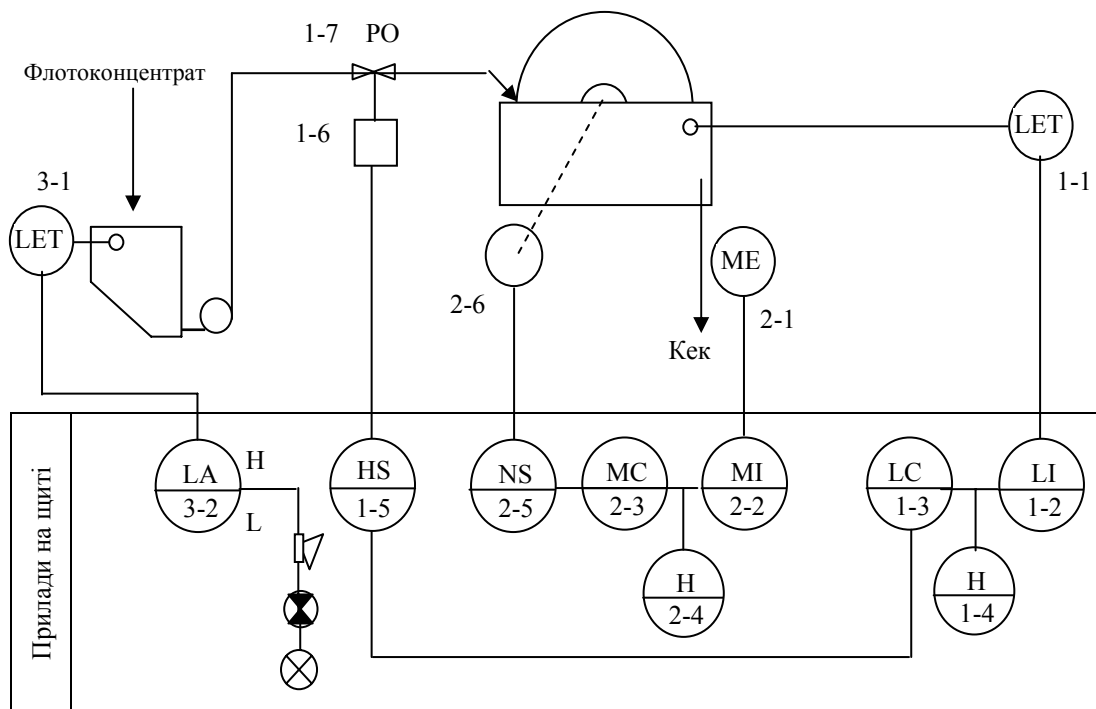


Рис. 10.4. Схема автоматизації процесу фільтрації флотоконцентрату.

З технологічних міркувань приймаємо, що для вакуум-фільтра найважливішими параметрами є вологість кеку і рівень пульпи у ванні. Рівень пульпи залежить від ряду параметрів – навантаження на вакуум-фільтр, його продуктивності, яка, в свою чергу, визначається частотою обертання дисків, вакуумом у системі, гранулометричним складом живлення та ін. Приймаємо найбільш простий канал управління рівнем пульпи – об'ємне навантаження на вакуум-фільтр, яке можна змінювати за допомогою дросельної заслінки, розташованої на нагнітальному пульпопроводі (PO, поз 1-7).

Вологість кеку також залежить від багатьох чинників (вакуум в системі, частота обертання дисків, об'ємне навантаження на вакуум-фільтр, гранулометричний склад флококонцентрату). Враховуємо, що вакуум у системі зневоднення завжди підтримується максимально можливим.

Гранулометричний склад живлення вакуум-фільтра змінювати практично неможливо. Отже, приймаємо найбільш раціональний канал управління вологістю концентрату – зміну частоти обертання дисків вакуум-фільтра за допомогою привода (поз. 2-6). Зазначимо, що сучасні вакуум-фільтри обладнуються приводом з керованою частотою обертання дисків.

Важливим параметром у даній схемі є і рівень пульпи у зумпфі. При цьому не можна допускати як перелив, так і захоплення повітря всмоктувальним патрубком насоса.

Таким чином, приймаємо для схеми автоматизації вакуум-фільтром незалежні системи:

1. Систему стабілізації рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра (поз.1).
2. Систему регулювання вологості кеку (поз. 2).
3. Систему контролю верхнього рівня пульпи в зумпфі (поз. 3).

Система 1 містить первинний датчик рівня пульпи (чутливий елемент з перетворювачем, поз 1-1), встановлений за місцем, вторинний шкальний (показуючий) прилад контролю рівня (поз. 1-2), регулятор (поз. 1-2), задатчик (поз. 1- 4), перемикач вибору режиму роботи системи (поз. 1-5), виконавчий механізм з регулюючим органом, який встановлено на пульпопроводі (поз. 1-6 і 1-7).

Аналогічно, система регулювання вологості (2) кеку включає первинний датчик вологості (2-1), вторинний показуючий і реєструючий прилад (2-2), регулятор із задатчиком (2-3 і 2-4), тиристорну станцію управління (2-5) і привод фільтра (2-6).

Система контролю рівня (3) в зумпфі містить первинний дискретний датчик рівня (наприклад, 2 електроди поз. 3-1) і рівнемір (наприклад, типу УКС, поз. 3-2). Останній настроєний на контроль двох рівнів – верхнього (Н) і нижнього (L).

Сигналізація здійснюється за допомогою індикаторної лампочки і гудка.

У вітчизняній вуглезбагачувальній промисловості застосовується універсальний комплекс апаратури (САРФ), призначений для автоматизації флотаційних і фільтрувальних відділень. Комплекс забезпечує:

- автоматичну стабілізацію заданих питомих витрат реагентів;
- стабілізацію густини і витрати пульпи на флотацію;
- автоматичне регулювання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра і його продуктивності.

Контрольні запитання:

1. Дайте характеристику факторному взаємозв'язку флотаційного процесу.

2. Викладіть принципи розробки схеми автоматизації дозування реагентів.

3. Розкрийте вимоги до схем автоматизації вугільної флотації.

4. Поясніть особливості вакуум-фільтра як об'єкта автоматизації.

5. Опишіть чинники, що впливають на процес фільтрації.

6. Сформулюйте початкові дані для проектування схеми автоматизації вакуум-фільтра.

Література до розділу: [4], [5], [9].

11. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГРАВІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБАГАЧЕННЯ

Вхідні, вихідні і збурюючі чинники процесу. Принцип управління відсаджувальною машиною. Системи контролю і локальні САР. Схема автоматизації відсаджувальної машини. Структура чинників процесу важкосередовищної сепарації. Схема автоматизації процесу.

11.1. Схема автоматизації відсаджувальної машини

Особливістю сучасної відсаджувальної машини є велике число керуючих впливів. Для прикладу розглянемо відсаджувальну машину з роторним розвантажувачем для збагачення вугілля. Керуючі впливи відсаджувальної машини наведені на рис. 11.1. До них належить навантаження (G), витрата транспортної і підрешітної води (Q_t, Q_p), витрата повітря (Q_p), частота обертання роторного розвантажувача (w_p), частота і амплітуда пульсації постелі (f_n, A_n).

Вхідні збурення пов'язані в основному із змінним характером властивостей сировини. Це – зольність, ситовий і фракційний склад вихідного ($A_{вх}, C, \Phi$).

На рисунку показано проміжні вихідні параметри – розпушеність і висота постелі (R_n, H_n). Останні два чинники безпосередньо впливають на вихідні параметри – зольність продуктів (A_i) і їх вихід (γ_i).

Звичайно, цей перелік факторів впливу на процес далеко не вичерпний. Так, при наявності штучної постелі важливим є її гранулометричний склад (особливо зерен верхнього підшару штучної постелі). Важливим регулюючим чинником може бути зміна форми кривої відсаджувального циклу, що при сучасних клапанних пульсаторах не являє технічної труднощі. Таким чином, можливість побудови нових ефективних САР процесом відсадки цілком реальна.

При виборі регуляторів висоти і розпушеності постелі потрібно враховувати, що передавальна функція відсаджувальної

машини по каналу "частота обертання ротора розвантажувача" - "висота постелі" являє собою реальну інтегруючу ланку з транспортним запізненням:

$$W(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)} e^{-p\tau},$$

а по каналах "витрата підрешітної води води або повітря" - "розпушеність постелі" передавальна функція має вигляд аперіодичної ланки першого порядку з транспортним

запізненням: $W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau}.$

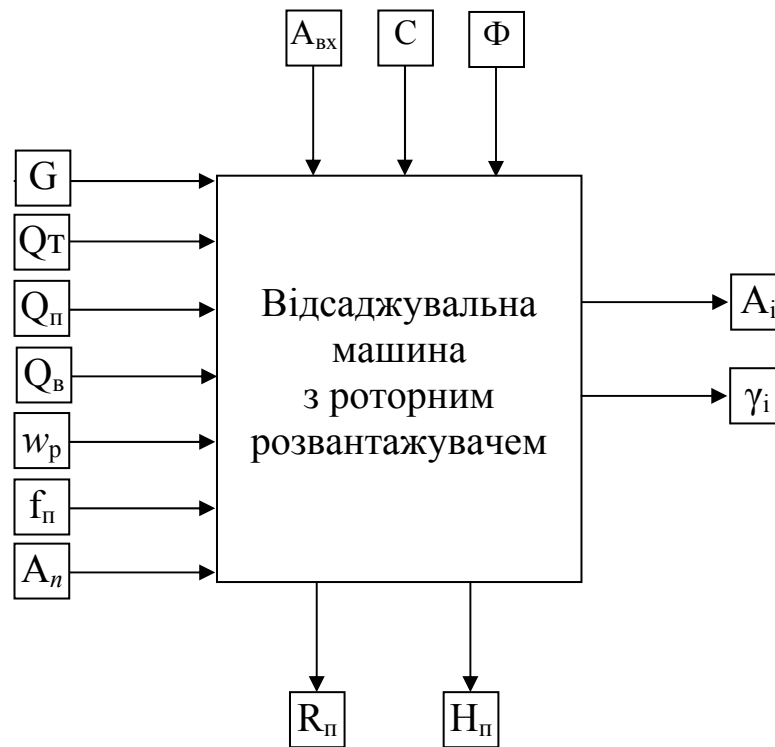
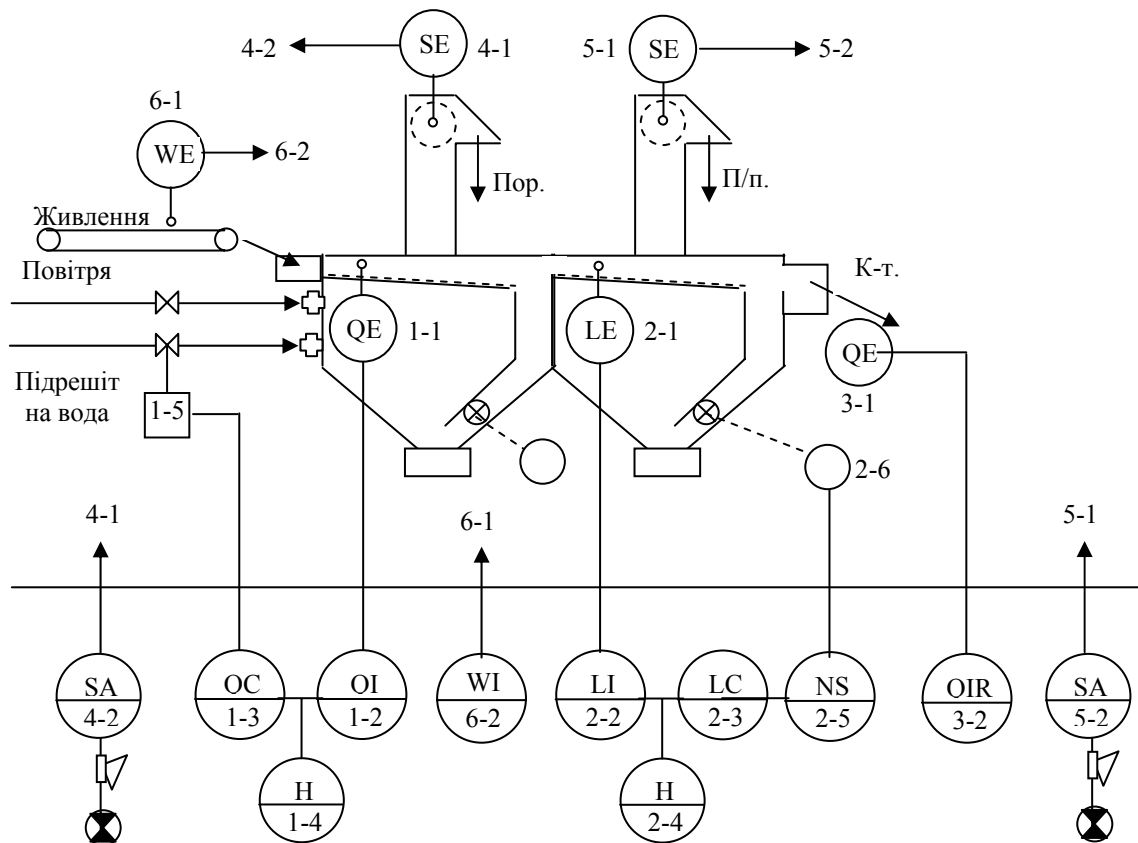


Рис. 11.1. Управляючі, збудувальні і вихідні фактори процесу відсадки.

Таким чином, при розробці схеми автоматизації відсаджувальної машини приймаємо, що до основних технологічних параметрів, які визначають якісно-кількісні показники її роботи, належать розпушеність постелі і її товщина (висота).

Розпушеність постелі зумовлює можливість її розшарування за густиною. Вона може змінюватися шляхом регулювання витрати підрешітної води і повітря. Каналом управління розпушеністю постелі звичайно приймають витрату підрешітної води. На схемі автоматизації (рис. 11.2) регулювання розпушеності здійснює система 1 (перше відділення машини).



11.2. Схема автоматизації відсаджувальної машини з роторним розвантажувачем.

Така ж система передбачається й у другому відділенні (на схемі не показана). Система містить стандартні елементи автоматики: датчик (1-1), вторинний показуючий прилад (1-2), регулятор із задатчиком (1-3 і 1-4), виконавчий механізм з регулюючим органом (1-5).

Товщина постелі може регулюватися навантаженням на машину і кількістю вивантаження важкої фракції. Навантаження на машину встановлюється постійним (на схемі не показано), тому за основний канал управління товщиною постелі прийнята

частота обертання роторного розвантажувача, тобто кількість важкої фракції, що вивантажується за одиницю часу. На сучасних відсаджувальних машинах роторні развантажувачі важкої фракції укомплектовані тиристорним приводом (регульована частота обертання).

На схемі регулювання товщини шару важкої фракції постелі здійснюється системою 2 (друге відділення машини). Ця система містить станцію управління (2-5) тиристорним приводом (2-6). Подібна система встановлена і в першому відділенні (на рисунку не показана).

Ряд параметрів процесу відсадки бажано контролювати. До них належать зольність концентрату (система контролю 3), навантаження на машину (система 6). Для контролю переміщення ланцюгів елеваторов встановлено реле швидкості з сигналізацією (системи 4 і 5).

На деяких вуглезбагачувальних фабриках експлуатується комплекс автоматизації відсаджувальних машин ОКА. Комплекс включає ряд функціональних блоків, що виконують:

- автоматичне регулювання висоти і розпушеності постелі;
- оптимізацію процесу розділення вугілля з урахуванням зольності продуктів збагачення і продуктивності відсаджувальної машини;
- контроль основних параметрів процесу відсадки і сигналізацію про стан механізмів.

11.2. Схема автоматизації процесу збагачення у важких середовищах

Автоматизація процесу важкосередовищного збагачення в сепараторах або в гідроциклонах не має принципової відмінності. На рис. 11.3 показано структуру чинників процесу.

Вхідними і керуючими чинниками тут є навантаження по вихідному (Q), витрата води і магнетиту (Q_v , Q_m) і частка (пайова частина) робочої суспензії, що направляється на регенерацію (α_c).

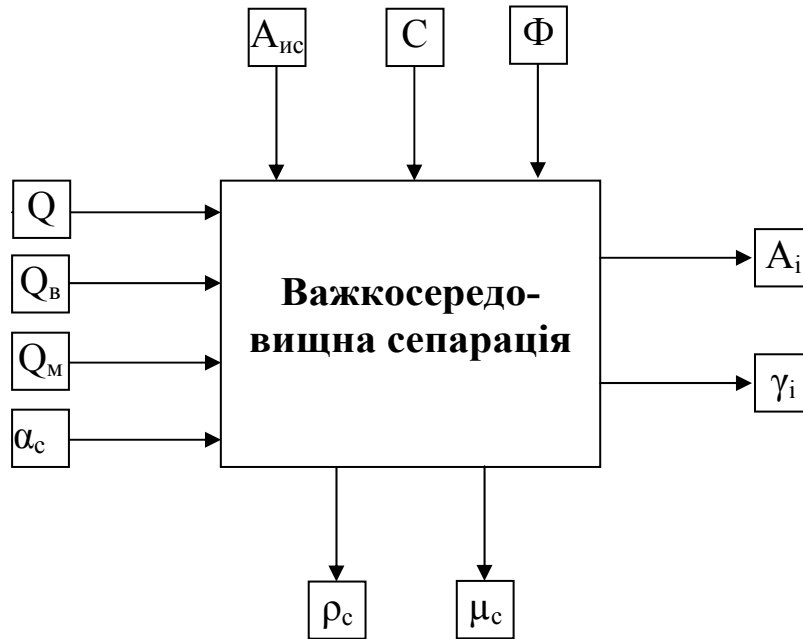


Рис. 11.3. Структура чинників процесу важкосередовищної сепарації.

Збурюючими впливами, як при автоматизації відсадки машини, є характеристики початкового матеріалу – зольність, ситовий і фракційний склад сировини ($A_{вх}$, C і Φ).

Проміжні вихідні параметри, що визначають вихідні показники - зольність продуктів збагачення (A_i) і їх вихід (γ_i), - це густина (ρ_c) і в'язкість (μ_c) робочої суспензії.

На рис. 11.4 наведено варіант схеми автоматизації процесу важкосередовищної сепарації на колісному сепараторі типу СКВП. На схемі не показано відмивання магнетиту від породного продукту.

При розробці схеми враховано, що основні параметри процесу, які визначають якісні показники, і, отже, вимагають стабілізації, – густина робочої суспензії (система 3) і її в'язкість (система 4). Існує декілька каналів управління густиною суспензії.

На схемі показано канал управління шляхом розведення суспензії водою до потрібного значення. Реалізація даного методу можлива, оскільки в бак кондиційної суспензії (БКС) по мірі необхідності подається свіжа порція суспензії з явно підвищеною густиною, приготована у спеціальному баку (БС).

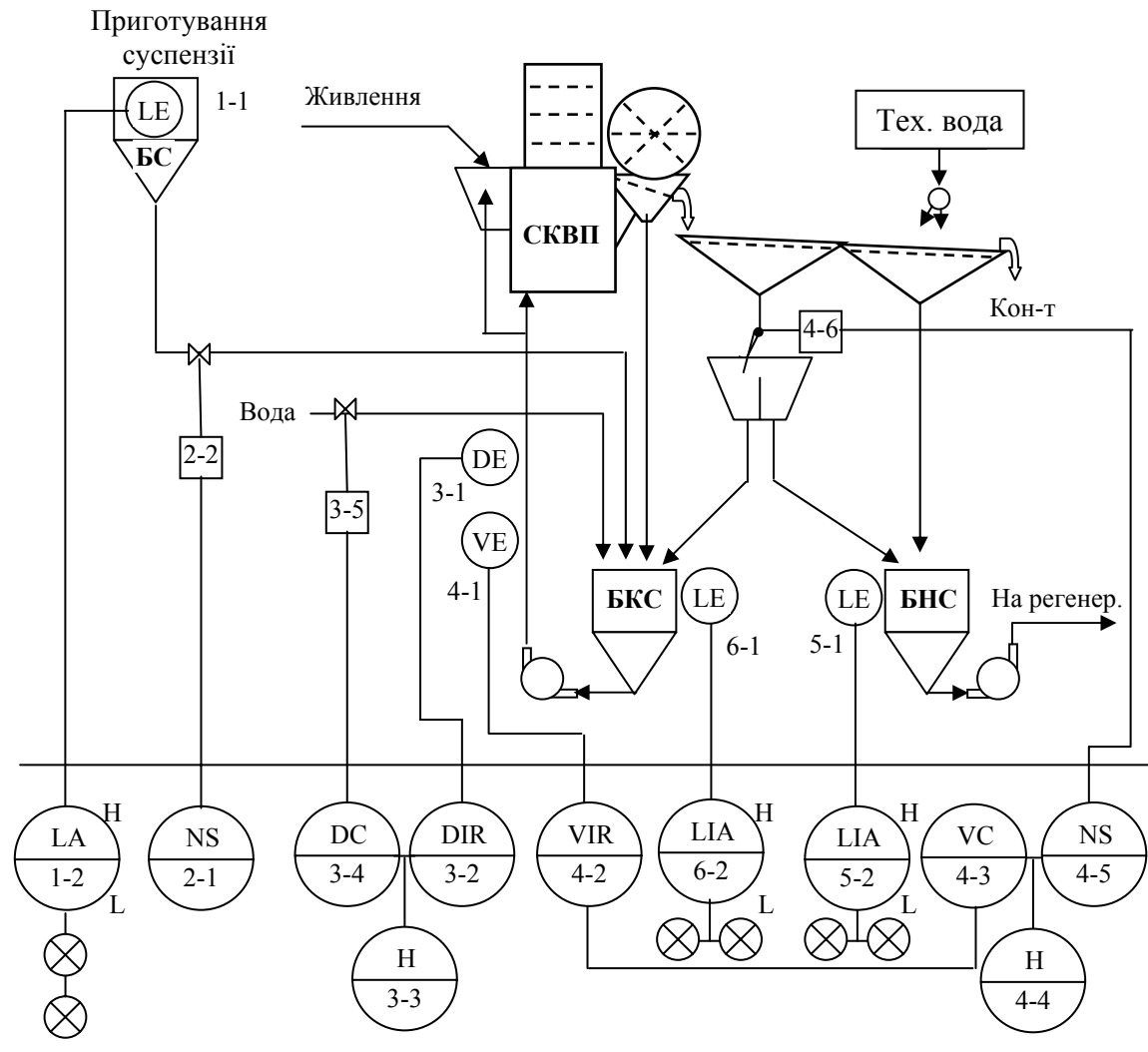


Рис. 11.4. Схема автоматизації процесу важкосередовищної сепарації на колісному сепараторі.

В'язкість суспензії регулюється шляхом подачі частини робочої суспензії за допомогою дільника і виконавчого механізму (поз. 4-6) на регенерацію.

Склад і робота розглянутих локальних систем авторегулювання легко читається за допомогою буквених позначень.

Додатково схема містить систему (система 1) контролю з сигналізацією верхнього і нижнього рівнів у баку суспензії (БС).

На щиті встановлена схема управління (2-1) засувкою на трубопроводі свіжої суспензії (2-2). Контролюються з

сигналізацією і рівні в баках кондиційної (БКС) і некондиційної суспензії (БНС, системи 5 і 6).

Для автоматизації будь-яких важкосередовищних установок розроблено універсальний комплекс апаратури РУТА, який може реалізувати автоматизацію наступних варіантів технологічних схем:

- збагачення за одну стадію в колісних або важко-середовищних гідроциклонах з розділенням на два продукти;
- двостадіальне збагачення в колісних сепараторах з виділенням трьох продуктів;
- збагачення у дво- і трипродуктових гідроциклонах з роздільною регенерацією суспензії.

Контрольні запитання:

1. Сформулюйте початкові дані для проектування схем автоматизації:

- процесу відсадки;
- процесу важкосередовищної сепарації вугілля;
- збагачувального гідроциклона;
- спірального сепаратора.

2. Розробіть схему автоматизації збагачувального гідроциклона.

Література до розділу: [2], [3], [4] .

12. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Сушильні установки – об'єкти автоматизації. Особливості динамічних властивостей об'єктів. Факторний взаємоз'язок комплексу топко-сушильний агрегат. Принципи розробки схеми автоматизації топко і сушильних барабанів. Схеми автоматизації сушильних агрегатів.

12.1. Особливості сушильних установок як об'єктів управління

Сушильні установки збагачувальних фабрик складаються з двох частин – топкового пристрою з дуттьовими установками, що служить для вироблення газоподібного теплоносія, і власне сушарок із завантажувальними і розвантажувальними пристроями, системами пиловловлювання і димососами.

На сушильних установках як сушильний агент використовуються топкові гази, які отримують в топках при спаленні твердого, рідкого або газоподібного палива. Найбільш простими в управлінні є топки з газоподібним або рідким паливом. Однак їх застосування обмежується в зв'язку з дефіцитом такого палива. На збагачувальних фабриках найчастіше застосовують топки з шаровим спаленням твердого палива, які є більш складними в експлуатації і автоматизації.

Процес термічної сушки частіше за все здійснюється в трубах-сушарках або барабанних сушильних установках, а в деяких випадках в сушарках киплячого шару.

Метою автоматизації процесу сушки є стабілізація (або оптимізація) кінцевої вологості продуктів збагачення з максимальною продуктивністю сушильних агрегатів при мінімальних витратах палива, а також безпечна експлуатація сушильних агрегатів і топко.

До основних особливостей сушильних установок як об'єктів автоматизації можна віднести:

- інерційність, властиву протіканню теплових процесів;
- стохастичність процесу термічної сушки при значному рівні випадкових збурень і слабкому взаємозв'язку основних змінних;

- складність отримання основного регулюючого впливу, що репрезентативно відображає зміни кінцевої вологості вугілля внаслідок того, що сушильні відділення переробляють велику масу дрібного неоднорідного продукту, вологість якого визначається як усереднена величина, що характеризує продукт статистично;
- вибухонебезпеку, що зумовлює необхідність створення систем захисту, контролю і сигналізації.

Автоматизація сушильної установки повинна забезпечувати:

- контроль основних технологічних параметрів; захист установки від аварійно небезпечних режимів роботи;
- автоматичне регулювання основних чинників, що забезпечують раціональні режими роботи установок;
- управління процесом сушки і горіння палива, а також контроль основних параметрів безпеки.

Технологічно топковий пристрій і сушильний агрегат являють собою єдиний комплекс (рис. 12.1), в якому топка має задачу підготувати необхідну кількість теплоносія (Q_T) із заданою температурою (T_T), а сушильний агрегат – забезпечити необхідну вологість сушеного продукту (“сушонки”) (W_c).

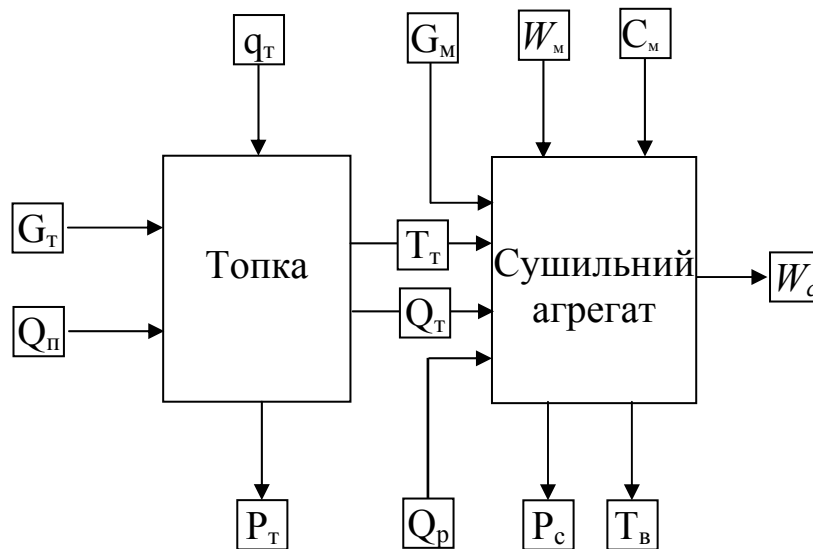


Рис. 12.1. Факторна модель сушильного комплексу.

До керуючих параметрів топкового пристрою належать кількість палива (G_T) і кількість повітря (Q_P), що подаються в топку. Основним збуренням на даний агрегат є теплота згоряння палива, що визначається його характеристиками (q_T).

До проміжного вихідного параметра потрібно віднести тиск у топці (P_T), що є показником збалансованої роботи тягодуттєвих апаратів і безпеки експлуатації топки.

Головні вихідні чинники топки, - вони ж є вхідними для сушильного агрегата, - кількість і температура теплоносія (Q_T і T_T).

До вхідних (керованих) чинників сушарки потрібно віднести навантаження на агрегат по матеріалу (G_M), що підсушується, і кількість повітря, що подається в завантажувальну камеру на розбавлення теплоносія (Q_p). Збуреннями на даний об'єкт можуть бути вологість початкового матеріалу (W_M) і його ситовий склад (C_M). До проміжних вихідних чинників віднесемо тиск у агрегаті (P_c) і температуру газу в його вивантажувальній камері (T_B).

Розглянемо детальніше принципи автоматизації сушильних комплексів.

12.2. Схема автоматизації топки з ланцюговими ґратами

На рис. 12.2 зображена схема автоматизації топки шарового спалення з ланцюговими ґратами прямого ходу.

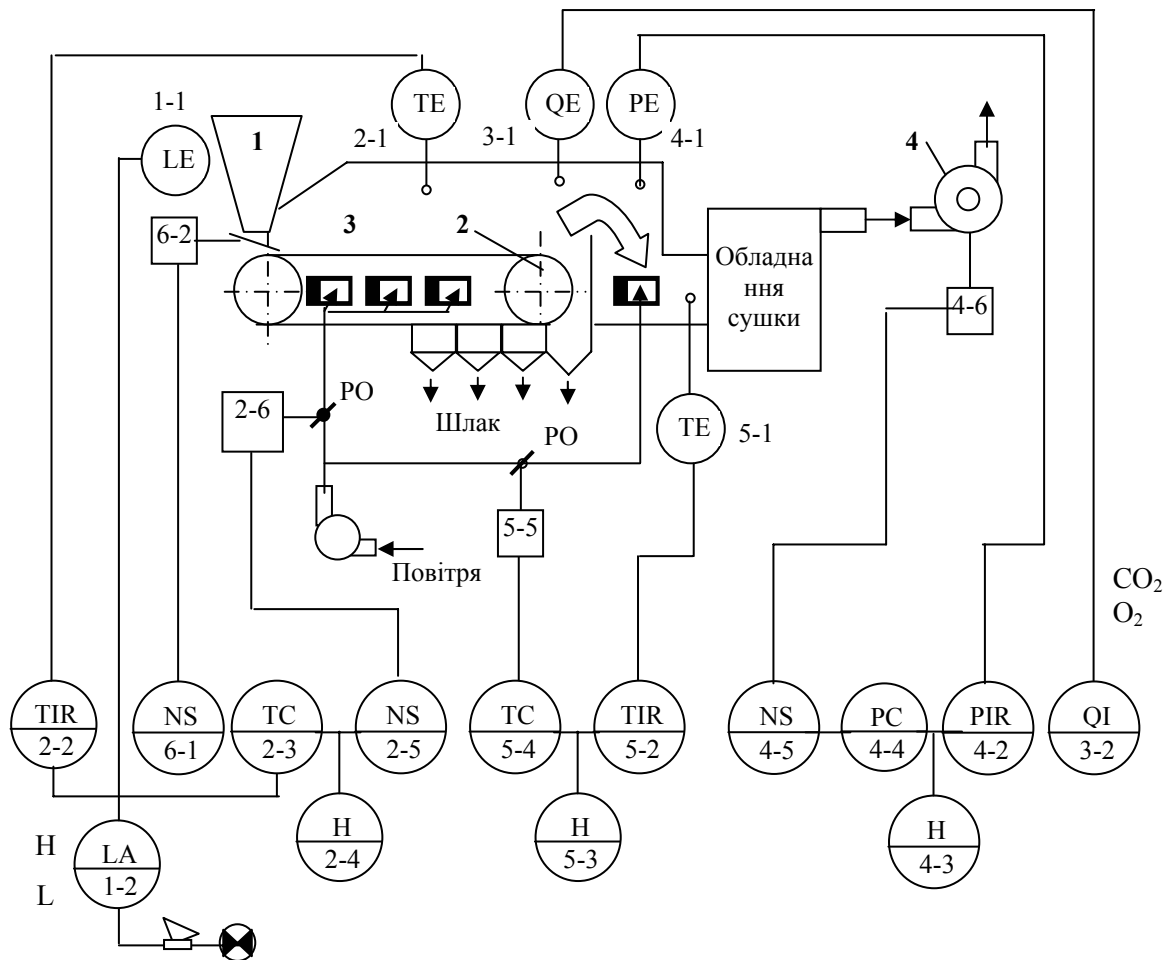


Рис 12.2. Схема автоматизації топки з ланцюговими ґратами.

Топка являє собою камеру спалення твердого палива (3), яке відбувається на поверхні безпровальних ланцюгових ґрат (2). Паливо дозується на ґрати з бункера (1) живильником з приводом (4-6). Для підтримки горіння знизу вентилятором подається повітря, витрата його керується системою регулювання температури в зоні горіння (система 2). Продукти горіння через змішувальну камеру надходять у сушильний агрегат (трубу-сушарку або барабан). Система регулювання (5) підтримує температуру газу на вході в агрегат шляхом розбавлення газів холодним повітрям. Величина цієї температури визначається маркою вугілля, що сушиться, і його вологістю. Велике значення для безпеки праці має тиск (розрідження) в топці.

Необхідне розрідження забезпечує система (4), яка змінює продуктивність димососа, впливаючи на його направляючий апарат виконавчим механізмом (4-6). Схема автоматизації містить газоаналізатор (система 3) і систему контролю рівня палива в бункері (система 1). При наявності оперативного контролю вмісту O_2 і CO_2 є можливість розробити систему регулювання раціонального режиму спалення твердого палива.

12.3. Схема автоматизації барабанної сушильної установки

Спрощена схема автоматизації наведена на рис. 12.3. Технологічна схема включає бункер підсушуваного вугілля (БВ), забезпечений живильником з керованим приводом (поз.1-6), обертовий барабан, батарею циклонів (БЦ), димосос, мокрий пиловловлювач (МП). Барабан забезпечений завантажувальною камерою (ЗК) і розвантажувальною (РК). У завантажувальну камеру надходить вологе вугілля і теплоносій (газ), підготовлений у топці.

У розвантажувальній камері відбувається виділення основної маси сухого вугілля (сушонка), тонкі частинки вугілля виносяться в батарейний циклон, де виділяється основна частина тонких частинок, остаточне їх вловлювання здійснюється за допомогою води в мокрому пиловловлювачі (МП).

Основний регульований параметр – вологість сушонки, (система 1). Каналом управління тут прийняте навантаження на

барaban, яке змінюється за допомогою привода живильника (поз. 1-6). Система включає звичайні елементи автоматики: первинний датчик вологості (1-1), вторинний реєструючий прилад (1-2), регулятор із задатчиком (1-4 і 1-3), станцію управління (1-5) і виконавчий механізм (1-6).

Другий важливий параметр – температура газів на вході в барaban. Вона стабілізується системою регулювання (5), розташованою в схемі автоматизації топки (рис. 8.13). Тому тут передбачено тільки додатковий контроль температури (система 2).

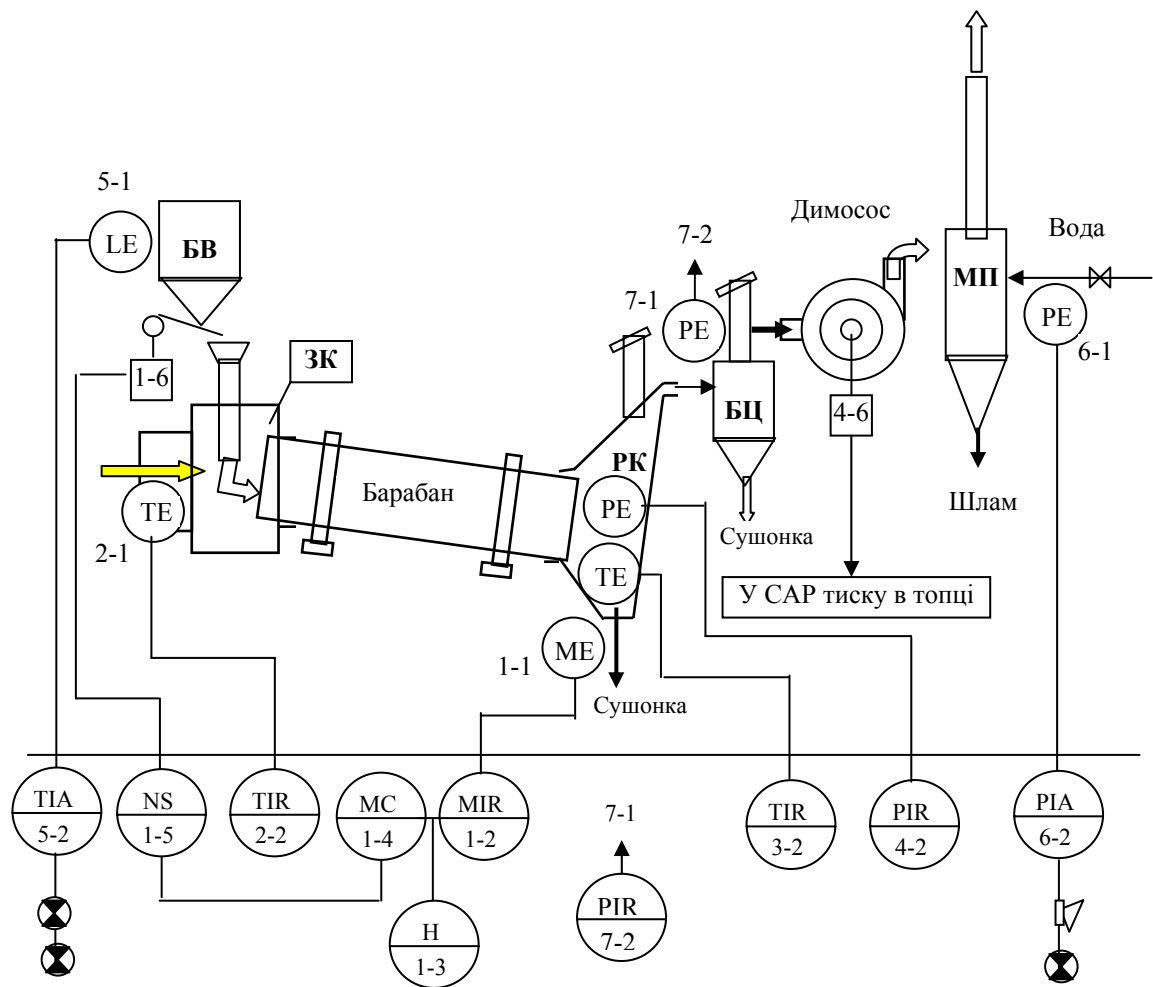


Рис. 12.3. Схема автоматизації барабанної сушильної установки.

Система 3 контролює температуру на виході з барабана. Це також важливий параметр. Різниця між температурами на вході і на виході з барабана характеризує тепловіддачу газу на сушіння вугілля.

Системи 4 і 7 контролюють тиск у відповідних точках тракту сушильної установки. Ці параметри необхідні для загального управління процесом сушіння.

Система контролю рівня в бункері вугілля (5) – дискретна з сигналізацією. Остання допоміжна система контролю з сигналізацією – тиск води на вході мокрого пиловловлювача (6).

У системах контролю температури як первинні датчики звичайно застосовують термопари і терморезистори відповідного типу.

Важливим питанням у розглядуваній системі є забезпечення оперативного контролю вологості кінцевого продукту.

12.4. Схема автоматизації труби-сушарки

Один з варіантів схеми автоматизації труби-сушарки показано на рис. 12.4.

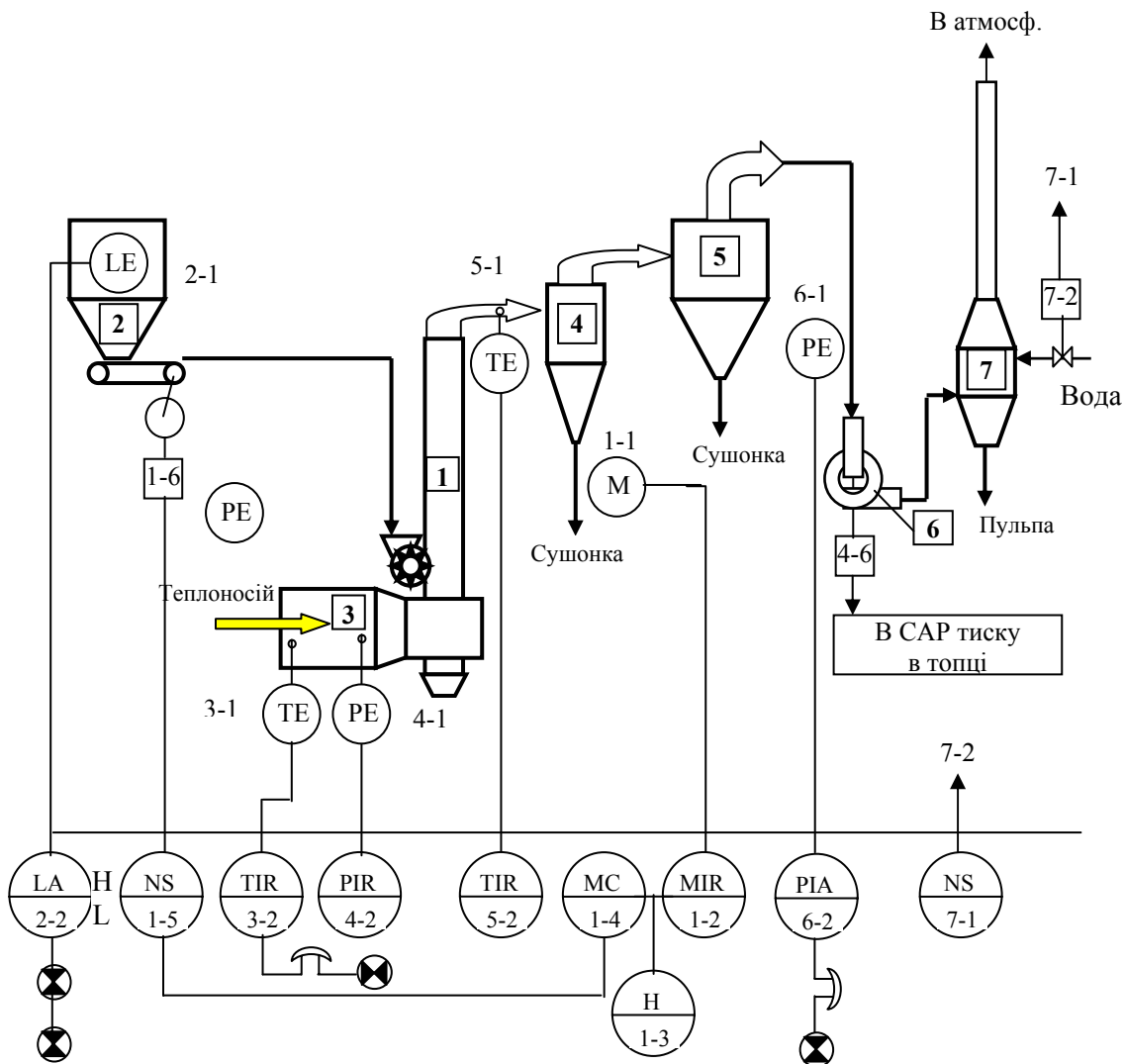


Рис. 12.4. Схема автоматизації труби-сушарки.

Технологічна схема відрізняється від розглянутої вище в основному сушильним агрегатом. Тут застосовується труба-сушарка (1), забезпечена в нижній частині закидачем вологого вугілля. У закидач вологе вугілля дозується з допомогою живильника, розташованого під бункером (2).

Гарячі гази, підготовлені в топці, надходять в трубу за допомогою газоходу (3) зі швидкістю, яка забезпечує підняття в ній найбільшого шматка вугілля, що міститься в матеріалі. Уловлювання основної маси сухого вугілля здійснюється за допомогою розвантажувальної камери або циклона (4), тонкі фракції вугілля виділяються на батарейному циклоні (5), остаточне очищення газів проводиться в мокрому пиловловлювачі (7), куди гази подаються димососом (6). Зауважимо, що димосос забезпечує рух теплоносія від зони горіння в топці до викиду очищеного газу в атмосферу. При цьому він забезпечує необхідне розрідження у всіх апаратах сушильного відділення і транспортування вугілля в трубі-сушарці.

У схемі автоматизації прийняті регульовані і контрольовані параметри, подібні до автоматизації барабанної установки. Продуктивність димососа регулюється системою (4), яка належить до топкового агрегату.

Контрольні запитання:

1. Дайте характеристику факторного взаємозв'язку сушильного комплексу.
2. Складіть спрощену схему автоматизації топки з твердим паливом.
3. Розробіть схему автоматизації топки з газоподібним паливом.
4. Сформулюйте початкові дані для розробки схем автоматизації:
 - барабанної сушильної установки;
 - труби-сушарки.

Література до розділу: [3], [4], [5].

13. РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗГУЩЕННЯ

Радіальний згушувач як об'єкт автоматизації. Аналіз факторного взаємозв'язку. Обґрунтування принципу регулювання. Чинники управління. Контроль проміжних вихідних параметрів. Схема автоматизації, її аналіз.

Для прикладу розглянемо автоматизацію процесу згушення хвостів флотації в радіальному згушувачі, який застосовують на багатьох вуглезбагачувальних фабриках. Важливість поставленого питання пояснюється тим, що чистота використовуваного замість оборотної води зливу багато в чому визначає ефективність подальших гравітаційних процесів.

Радіальний згушувач як об'єкт автоматизації – складний інерційний об'єкт (рис. 13.1). Він характеризується такими основними вихідними параметрами – густиною згущеного продукту ($\delta_{зг}$) і густиною зливу ($\delta_з$).

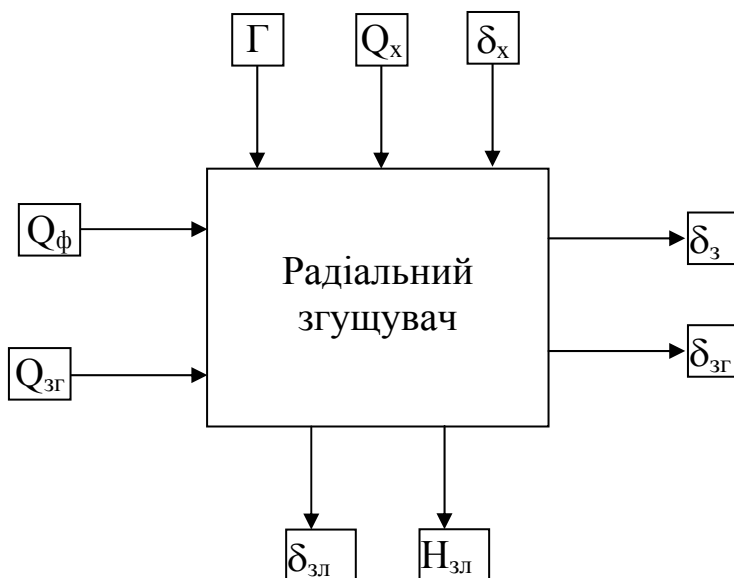


Рис. 13.1. Структура факторів процесу згушення.

Основні збурюючі впливи – витрата, густина і гранулометричний склад твердої фази живлення (Q_x , δ_x , Γ).

Проміжні вихідні параметри, що безпосередньо впливають на вихідні чинники, - висота проясненого шару ($H_{зл}$) і його густина ($\delta_{зл}$).

З точки зору вимог технології метою управління радіальним згущувачем є: стабілізація густини згущеного продукту ($\delta_{зг} = \text{const}$) і виконання умови $\delta_{зл} < \delta_{зл \text{ доп}}$, де $\delta_{зл \text{ доп}}$ допустима густина зливу.

Керуючим впливом за першим критерієм може служити величина перетину випускного отвору згущувача, за другим – витрата флокулянту.

Однак реалізація системи регулювання густини зливу (за відхиленням) шляхом зміни витрати флокулянту проблематична.

З теорії авторегулювання відомо, якщо

$$\tau_{заг} > 1/\alpha, \quad (8.1)$$

де α - параметр, який характеризує середню швидкість зміни збурюючого впливу; $\tau_{заг}$ - загальне запізнення об'єкта регулювання, то система регулювання за відхиленням перестає бути корисною, навіть у деяких випадках стає шкідливою.

Радіальні згущувачі за вказаним каналом управління характеризуються великим значенням інерційності [5], що приводить до виконання умови (8.1), тобто САР непрацездатна.

Дана проблема може бути вирішена двома способами. Перший – за допомогою системи регулювання по збуренню ($Q_{живл}$). Другий – стабілізацією висоти проясненого шару в згущувачі шляхом зміни витрати флокулянту. По цьому каналу інерційність об'єкта значно менша і реалізація САР за відхиленням реальна. Певну складність являє автоматичний контроль висоти проясненого шару, на чому ми зупинимося нижче.

Приклад схеми автоматизації наведено на рис. 13.2. Тут передбачено дві системи авторегулювання за відхиленням. Перша САР (система 1) стабілізує висоту проясненого шару шляхом зміни витрати флокулянту.

У систему входить датчик висоти проясненого шару (1-1) і звичайні стандартні елементи.

Друга САР (система 2) стабілізує густину згущеного продукту. Робота системи аналогічна розлянутим вище.

Аварійний контроль густини зливу здійснюється за допомогою фотометричного мутноміра (3-1), вторинного приладу з контактною групою і засобів сигналізації (3-3). Це рі-

шення актуальне для вугільних збагачувальних фабрик, де злив використовується як оборотна вода.

Враховуючи високу вартість сучасних флокулянтів, доцільно здійснювати контроль їх витрати з підсумовуванням (система 5).

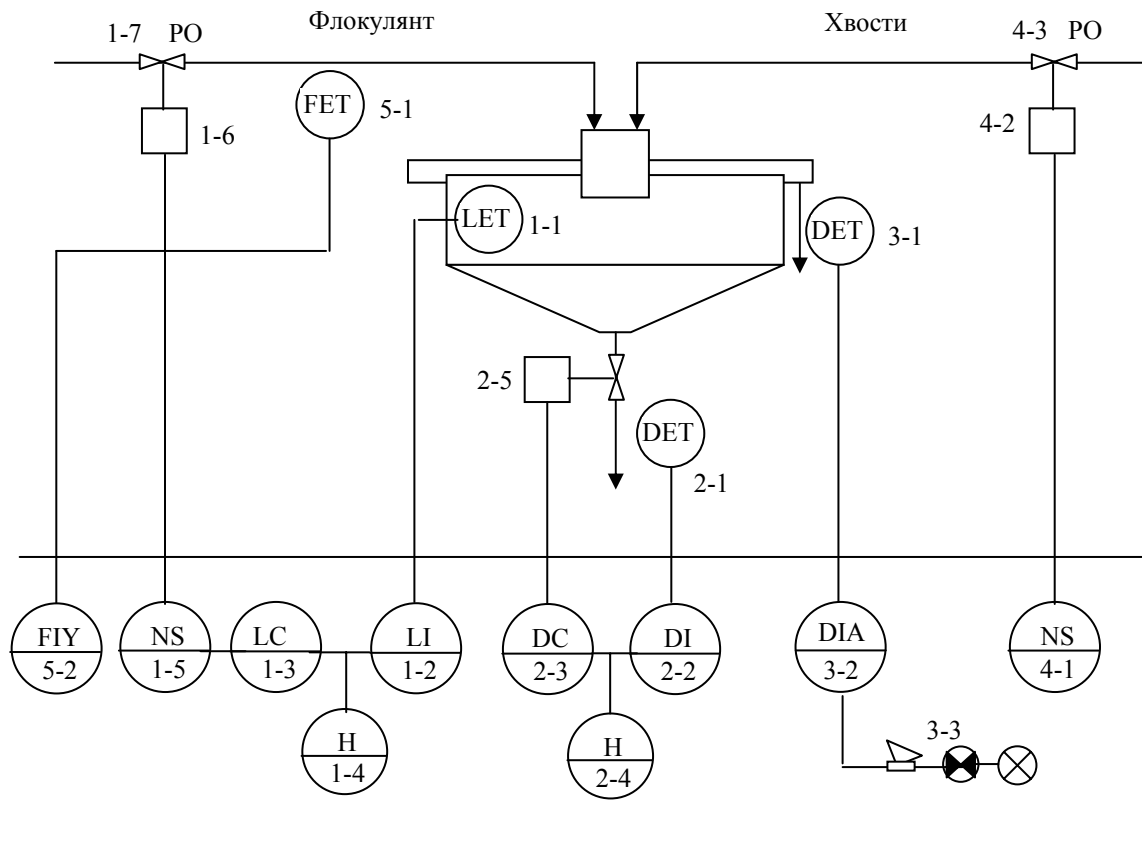


Рис. 13.2. Варіант схеми автоматизації радіального згущувача.

У схемі передбачена типова система дистанційного управління регулюючим органом на лінії живлення згущувача.

На схемі не наведено системи сигналізації і захисту від перевантаження ферми, якими комплектуються радіальні згущувачі з периферійним приводом.

Контрольні запитання:

1. Викладіть особливості автоматизації згущувачів хвостів флотатії вугілля.
2. Перерахуйте можливі методи контролю висоти проясненого шару в згущувачі.
3. Опишіть спрощену схему автоматизації циліндро-конічного згущувача.

Література до розділу: [3], [5], [9].

14. ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗБАГАЧЕННЯ РУД

Особливості автоматизації підготовчих процесів збагачення руд. Автоматизація процесів дроблення і подрібнення. Принципи автоматизації магнітного збагачення руд.

Збагачення руд чорних і кольорових металів включає ряд процесів, які не характерні для збагачення вугільної сировини. Це передусім підготовчі операції (дроблення, подрібнення, класифікація), магнітне розділення, процеси дешламації, гідрометалургійні методи.

Автоматизація рудопідготовки

Рудопідготовка включає процеси дроблення, грохочення і подрібнення руди.

Дроблення. Схеми дроблення здійснюють за одну, дві або три стадії в залежності від крупності початкової руди і крупності дробленого продукту. У схемах застосовують попереднє або контрольне грохочення, можливі замкнені цикли в останній стадії; між стадіями дроблення розташовують бункери, склади, транспортні конвеєрні лінії.

На рудозбагачувальних фабриках найбільше поширення отримали щоківі і конусні дробарки. Щоківі дробарки використовуються тільки для крупного дроблення, конусні – для крупного, середнього і дрібного дроблення.

Автоматичний контроль процесу дроблення.

Технологічно доцільно здійснювати автоматичний контроль кількості матеріалу, що переробляється, гранулометричного складу дробленого продукту, рівнів матеріалу у бункерах і дробарках, наявності в руді сторонніх металевих предметів, температури підшипників і обмоток електродвигунів та системи централізованого змащування.

Кількість матеріалу, що переробляється, вимірюють конвеєрними вагами, крупність дробленого продукту можна контролювати різними гранулометрами.

Наявність верхнього рівня руди на різних ділянках дробарки дає інформацію про перевантаження або про забивання нижньої розвантажувальної щілини. Для контролю верхнього рівня використовуються сигналізатори наявності руди і гамма-реле, а для електропровідних руд – електродні рівнеміри.

Контроль нижнього рівня в приймальних бункерах необхідний не тільки для отримання інформації про кількість матеріалу, але і для запобігання від руйнування живильників падаючими шматками руди при завантаженні бункера (на пластинчатому живильнику постійно повинен залишатися невеликий шар матеріалу).

Нижній рівень матеріалу у бункері контролюють переважно за допомогою гамма-реле.

Датчики-реле нижнього рівня в приймальних бункерах застосовуються також у схемах сигналізації і захисту.

Для автоматичного виявлення сторонніх металевих предметів встановлюються стандартні металошукачі і металовловлювачі.

Контроль температури вузлів тертя і обмоток електродвигунів може бути здійснений з допомогою термо- або тензорезисторів, а реєстрація – багатоточкових автоматичних мостів змінного струму з вбудованими контактними пристроями, які використовуються у схемах захисту і сигналізації.

Вся сучасна дробильна техніка обладнана системами централізованого змащування. Апаратура для контролю системи змащування поставляється, як правило, комплектно з дробаркою, включає прилади для вимірювання температури масла, рівня в маслобаку і тиску в маслопроводі.

Автоматичне регулювання процесу дроблення. Через неможливість у сучасних дробарках оперативно змінювати величини розвантажувальної щілини, автоматичне регулювання процесу зводиться в основному до стабілізації навантаження на дробарку.

Автоматичне регулювання продуктивності дробарки можна реалізувати шляхом стабілізації кількості руди, що подається, ступеня завантаження дробарки матеріалом, струму або потужності, споживаної електродвигуном дробарки, і питомої витрати електроенергії.

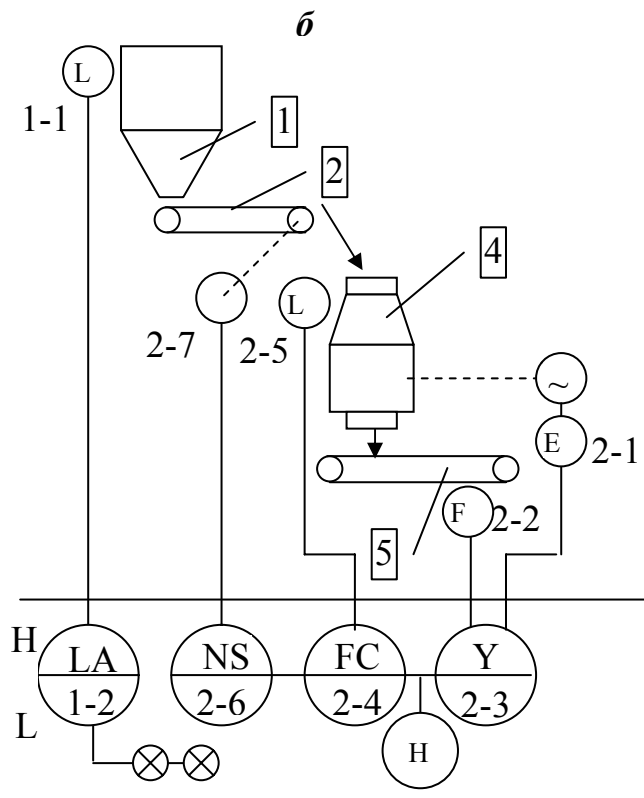
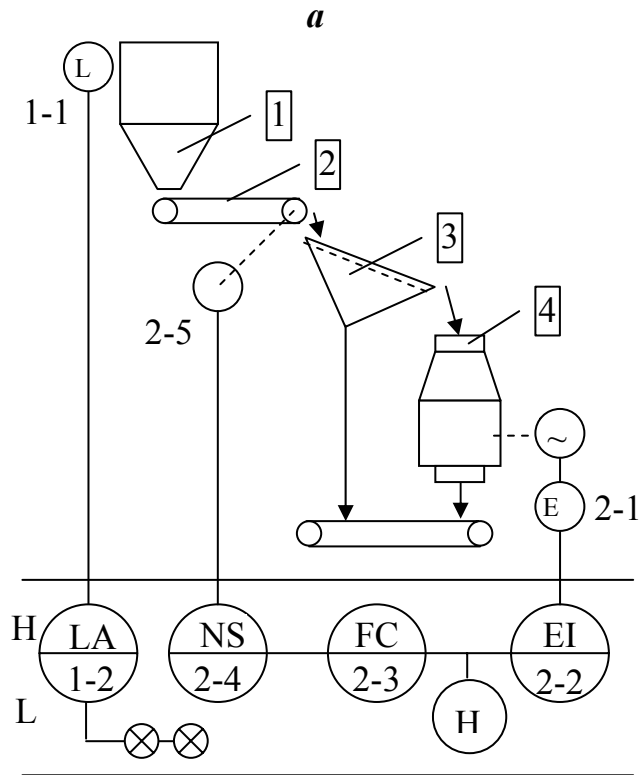


Рис. 14.1. Схеми автоматизації процесу дроблення руди:
а – за споживаною потужністю; б – за питомими витратами
енергії. 1 – бункер; 2 – пластинчастий живильник; 3 – грохот;
4 – конусна дробарка; 5 – конвеєр.

На рис. 14.1 наведено два варіанти схем автоматизації конусної дробарки. Технологічні схеми варіантів відрізняються тільки наявністю операції грохочення (3) в схемі "а".

Перша схема реалізовує автоматичну стабілізацію навантаження на дробарку, використовуючи як сигнал відхилення споживану двигуном потужність.

Система включає первинний перетворювач споживаної потужності (2-1), типовий набір елементів САР (вторинний прилад, регулятор із задатчиком і станцію управління). Як привод пластинчатого живильника прийнятий асинхронний електродвигун (2-5) з тиристорним управлінням, що дозволяє плавно змінювати продуктивність живильника.

Основним недоліком даної схеми автоматизації є залежність споживаної двигуном потужності від властивостей руди (твердість, крупність, вологість). Оскільки САР розраховується для умови дроблення руди з середніми механічними властивостями, не виключається можливість переповнення завантажувальної частини дробарки при надходженні більш м'якої або дрібної руди.

Потрібно звернути увагу, що наявність грохота між об'єктом регулювання (дробарка) і регулюючим органом (живильник) значно ускладнює роботу САР, оскільки в об'єкт вводиться транспортне запізнення.

Вказані недоліки відсутні в схемі автоматизації, що показана на рис. 14.1, б. Вхідним сигналом у даній схемі прийнято відхилення питомої витрати електроенергії. Сигнал, пропорційний питомій витраті енергії, визначається шляхом ділення в блоку (2-3) сигналу від перетворювача потужності (2-1) на сигнал від системи вимірювання ваги (2-2). При надмірному заповненні дробарки матеріалом, внаслідок, наприклад, зниження його міцності, на регулятор (2-4) надходить інформація від датчика рівня (2-5), що забороняє подальше збільшення навантаження на дробарку.

У обох схемах автоматизації передбачено контроль верхнього і нижнього рівнів у бункерах вихідного матеріалу (системи 1).

На практиці частіше реалізовується принцип стабілізації потоку і запасу матеріалу для процесів крупного, середнього і дрібного дроблення шляхом управління потоково-транспортною системою (ПТС) цехів і заповненням дробарок і грохотів рудою. Управління ПТС забезпечує стабільність потоку руди по технологічній схемі, включаючи ланки: бункери, конвеєри, грохоти, дробарки, живильники, перевантажувальні вузли.

Для автоматизації заповнення бункерів можна рекомендувати апаратуру автоматичного управління завантаженням бункера, що включає пристрій дистанційної передачі інформації і апаратуру автоматизації завантаження бункера, що випускається Луганським заводом "Вуглеприлад". Апаратура управляє пересуванням завантажувального механізму над бункером в автоматичному, дистанційному і місцевому режимах за допомогою логічних схем, наприклад, на базі безконтактних елементів ("Оператор").

В Україні експлуатуються різні типові системи дистанційного управління, які дозволяють здійснювати запуск і зупинку будь-якої складності потоково-транспортних систем.

Подрібнення. На рудних збагачувальних фабриках застосовуються барабанні кульові, стержневі, рудно-галькові млини і млини самоподрібнення. Для крупного подрібнення використовуються млини самоподрібнення і стержневі, які працюють звичайно у відкритому циклі.

Для середнього і тонкого подрібнення найчастіше застосовують кульові і рудно-галькові млини, що працюють у замкненому циклі з класифікуючими пристроями – класифікаторами або гідроциклонами.

Автоматичний контроль процесу подрібнення. Ефективність процесу подрібнення залежить від ряду вхідних технологічних чинників, число яких визначається видом технологічної схеми. До них потрібно віднести: витрату руди, що надходить у млин, циркулююче навантаження (піськове навантаження класифікатора), ступінь завантаження млина, витрату води на млин, гранулометричний склад продукту, що подрібнюється, густину пульпи на зливах. Основні вихідні

параметри – гранулометричний склад подрібненої руди і продуктивність процесу.

Контроль таких параметрів, як витрати руди, води і пульпи, не викликає труднощів. Для визначення циркулюючого навантаження найбільше поширення отримали методи, засновані на вимірюванні струму або потужності споживаного двигуном привода класифікатора, оскільки споживана потужність визначається силами опору руху транспортуючого органу класифікатора, які, в свою чергу, залежать від піскового навантаження.

Основний недолік контролю циркулюючого навантаження за струмом або потужністю полягає в сильній залежності від технічного стану тертьових поверхонь силової передачі і зашламленості постелі транспортуючого органу.

Ступінь завантаження млина рудою і циркулюючими пісками є одним з основних параметрів, що визначають хід процесу подрібнення. Для оцінки ступеня завантаження використовується метод, заснований на вимірюванні шуму млина в різних частотних діапазонах.

Гранулометричний склад продуктів подрібнення бажано вимірювати безпосередньо автоматичними гранулометрами, встановленими на зливні класифікатора. Враховуючи складність такого контролю, про крупність подрібненого матеріалу непрямо судять по густині зливу класифікатора. Густина може бути проконтрольована за допомогою манометричних, вагових або радіоізотопних густиномірів.

Густина пульпи в розвантажувальному продукті млина вимірюється в основному радіоізотопними густиномірами.

Автоматичний контроль за станом подрібнювального обладнання зводиться до вимірювання температури підшипників і обмоток електродвигунів та контролю за роботою системи змащування.

Автоматизація процесу подрібнення. Розробка схем автоматизації процесів подрібнення руд повинна відповідати вимогам технології, які в основному полягають у стабілізації необхідного гранулометричного складу продукту подрібнення і забезпеченні максимальної продуктивності процесу.

У зв'язку з відсутністю надійно діючих автоматичних гранулометрів перша вимога реалізовується непрямо – шляхом стабілізації густини зливу класифікатора або гідроциклону.

Враховуючи, що на діючих фабриках подальше за подрібненням обладнання не особливо пристосоване до змінного навантаження, друга вимога замінюється на стабілізацію потоку готового продукту.

У завдання автоматичного регулювання багатостадійного подрібнення входить також розподіл навантаження між стадіями.

На рис. 14.2 показано варіант схеми автоматизації, що відповідає поставленим вимогам. Схема включає: САР завантаження млина рудою (система 2), густину пульпи в млині (система 3) і гранулометричний склад зливу класифікатора (система 4).

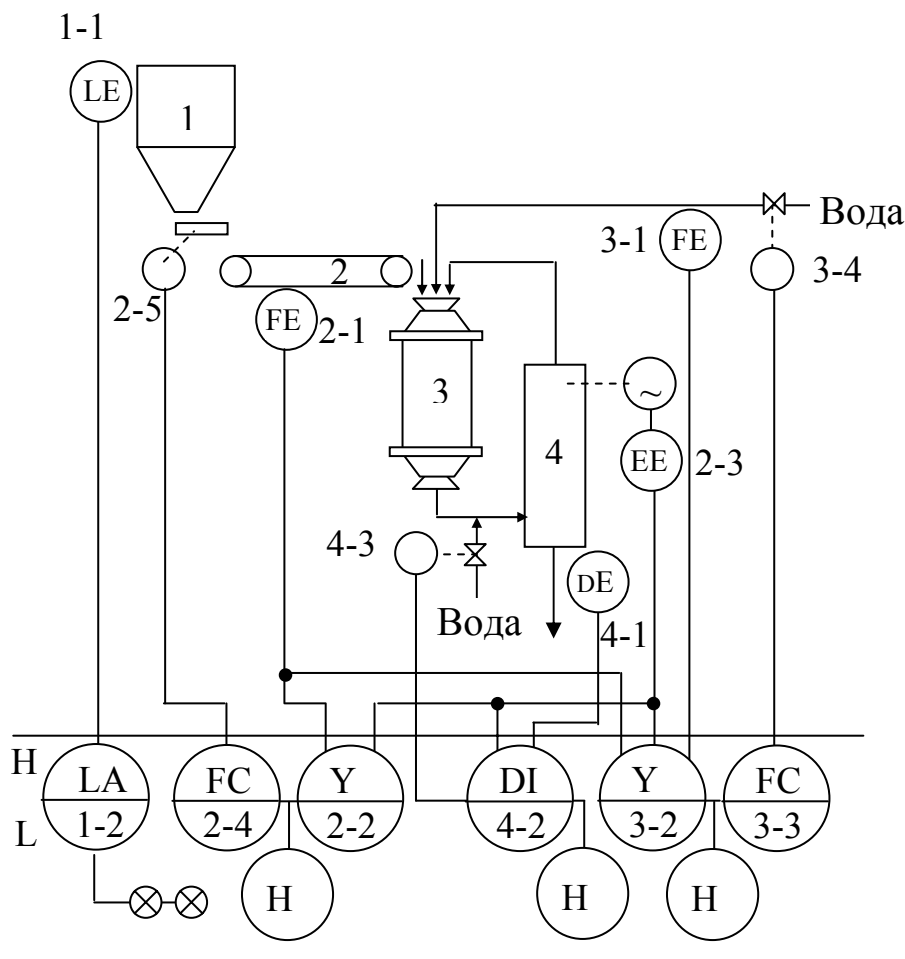


Рис. 14.2. Схеми автоматизації процесу одностадійного подрібнення 1 – бункер; 2 – конвеєр; 3 – шаровий млин; 4 – спіральний класифікатор.

У САР завантаження млина блок (2-4) служить для підсумовування сигналів, пропорційних витраті руди (датчик 2-1) і циркулюючого навантаження (датчик 2-3).

З урахуванням завдання (Н) і підсумовуваного сигналу регулюючий блок (2-4) управляє продуктивністю живильника (2-б), що змінює навантаження на млин.

Регулювання витрати води в млині здійснюється також з урахуванням завантаження млина рудою, пісками і поточною витратою води (блок 3-2).

Регулювання гранулометричного складу зливу класифікатора здійснюється шляхом стабілізації густини зливу з корекцією по пісковому навантаженню (система 4).

На схемі показано також контроль рівня в бункері дробленої руди.

Автоматизація процесів магнітного збагачення руд

На будь-якій збагачувальній фабриці, що збагачує магнетитові руди, працює велика кількість різних чином включених магнітних сепараторів, які з метою спрощення конструкції не мають ніяких регулюючих органів. У зв'язку з цим практично не використовують для автоматичного регулювання магнітних сепараторів ні частоту обертання барабана, ні напруженість магнітного поля електромагнітних сепараторів.

Відомо, що істотним чинником магнітного розділення сильномагнітних руд є густина живлення, однак регулювати її шляхом подачі води в кожний окремий сепаратор досить складно через велику їх кількість. Дане питання можна було б вирішити стабілізацією густини зливу попередньої магнітної сепарації класифікуючого апарата або подачею додаткової води в початкову пульпу. У цьому випадку одна точка витрати води може істотно впливати на роботу цілої групи магнітних сепараторів. Однак стабілізація густини зливу класифікуючого апарата призводить до значних змін витрати твердої фази у зливі, а отже, до нестабільного режиму роботи магнітних сепараторів. Наприклад, при збільшенні крупності і погіршенні подрібнюваності початкової руди збільшується кількість пісків у

класифікаторові, меншає подача свіжої руди в млин, отже, меншає кількість пульпи на зливі класифікатора, змінюється навантаження на магнітний сепаратор, що приводить до іншого перерозподілу між якістю і виходом проміжних продуктів магнітного сепаратора. Ще суттєвіше впливає на роботу магнітного сепаратора коливання вмісту магнітного заліза в початковій руді.

Труднощі, пов'язані з автоматичним управлінням процесом збагачення в розгорнутих технологічних лініях, можна усунути, якщо визначити такі проміжні регульовані змінні, які були б тісно пов'язані з кінцевими показниками процесу збагачення і мали б досить невеликі запізнення відносно регулюючих впливів. Реалізація подібних схем автоматизації пов'язана з використанням обчислювальних машин.

При мокрому збагаченні *слабкомагнітних руд* застосовують переважно валкові сепаратори з сильним полем і нижньою подачею матеріалу. Тут раціонально застосовувати систему стабілізації рівня пульпи у ванні сепаратора. Зниження рівня приводить до зменшення ефективності розділення і втрати продуктивності сепаратора, а збільшення – до переливу пульпи з ванни.

Контрольні запитання:

1. Розкрийте принципи автоматизації підготовчих процесів рудного збагачення.
2. Розробіть схему автоматизації магнітного дешламатора.
3. Розробіть спрощену схему автоматизації двостадіального подрібнення.
4. Розробіть схему автоматизації збагачення магнетиту в магнітних сепараторах.

Література до розділу: [2], [4], [5], [9] .

ЛІТЕРАТУРА:

1. Крутов В.И., Спорыш И.П., Юношев В.Д. Основы теории автоматического регулирования. - Москва: Машиностроение, 1969. – 360 с.
2. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов: Учеб. для вузов. - Москва: Недра, 1990. – 343 с.
3. Козин В.З., Троп А.Е., Комаров А.Я. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках: Учеб. для вузов. – Москва: Недра, 1980. – 336 с.
4. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик. – Москва: Недра, 1979. – 213 с.
5. Автоматизация производства на углеобогатительных фабриках / Л.Г. Мелькумов, В.А. Ульшин и др. – Москва: Недра, 1983. – 295 с.
6. Техника проектирования систем автоматизации. Справочные материалы / Под. ред. Л.И. Шипетина. – Москва: Машиностроение, 1966. – 702 с.
7. Глинков Г.М., Маковский В.А., Лотман С.Л. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов. – Москва: Металлургия, 1970. – 412 с.
8. Климовицкий М.Д., Копелович А.П. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. – Москва: Металлургия, 1967. – 788 с.
9. Иванов А.О. Теорія автоматичного керування: Підручник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2003. – 250 с.
10. Енциклопедія кібернетики. тт. 1, 2. – К.: Головна редакція УРЕ, 1973. - 584 с.

Навчальне видання

Папушин Юрій Леонідович
Білецький Володимир Стефанович

**Основи автоматизації гірничого
виробництва**

(курс лекцій)

Редакція авторська

Комп'ютерна верстка
Коректор

А. Лисенко
К. Саливон

Підп. до друку 10.08.2007. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографний. Ум. друк. арк. 5,7
Обл. - вид. арк. 3,8. Тираж 300 прим. Зам. 6-08.

Видавниче підприємство "Східний видавничий дім"
(Державне свідоцтво № ДК 697 від 30.11.2001)
83086, м. Донецьк, вул. Артема, 45
тел/факс (062) 338-06-97, 337-04-80
e-mail: svd@stels.net