

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	$\kappa_p = \frac{1}{4,5\kappa_{об} T_{об}}$	$\kappa_p = \frac{1}{1,7\kappa_{33} T_{33}}$	$\kappa_p = \frac{1}{1,7\kappa_{об} \tau_{об}}$
II	$\kappa_p = \frac{0,3}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$	$\kappa_p = \frac{0,7}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$	$\kappa_p = \frac{0,9}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$
III	$\kappa_p = \frac{0,6}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 0,6T_{33}$	$\kappa_p = \frac{0,7}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 0,7T_{33}$	$\kappa_p = \frac{1,0}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = T_{33}$
ПД	$\kappa_p = \frac{0,95}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 2,4\tau_{33}$ $T_n = 0,4\tau_{об}$	$\kappa_p = \frac{1,2}{\kappa_{33} \cdot \tau_{33} / T_{33}}$ $T_u = 2,0\tau_{об}$ $T_n = 0,4\tau_{33}$	$\kappa_p = \frac{1,4}{\kappa_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_i = 1,3\tau_{33}$ $T_n = 0,5\tau_{об}$

**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	$\kappa_p = \frac{0,4}{\tau_{33} / T_{33}}$	$\kappa_p = \frac{0,7}{\tau_{33} / T_{33}}$	Не застосовують
III	$\kappa_p = \frac{0,4}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 6\tau_{33}$	$\kappa_p = \frac{0,7}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 3\tau_{33}$	$\kappa_p = \frac{1,0}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 4\tau_{33}$
ПД	$\kappa_p = \frac{0,6}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 5\tau_{33}$ $T_n = 0,2\tau_{33}$	$\kappa_p = \frac{1,1}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 2,0\tau_{33}$ $T_n = 0,4\tau_{33}$	$\kappa_p = \frac{1,4}{\tau_{33} / T_{33}}$ $T_i = 1,6\tau_{33}$ $T_n = 0,5\tau_{33}$

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.

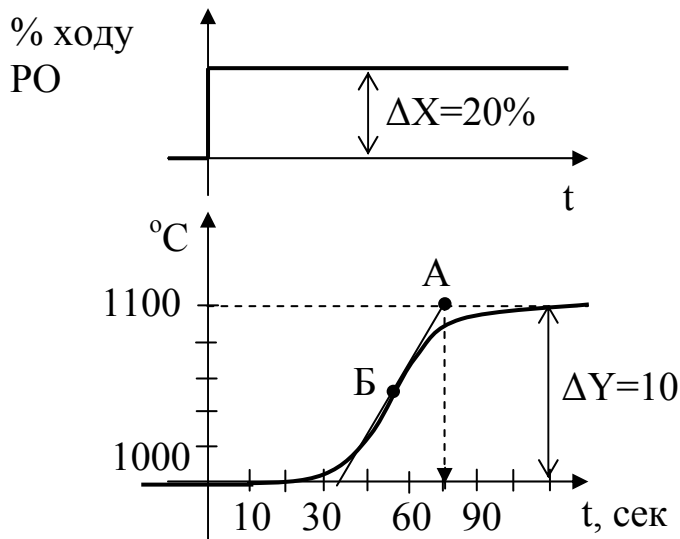


Рис 6.1. Крива розгону об'єкта (до прикладу).

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 $W(jw)$ при зміні w 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.

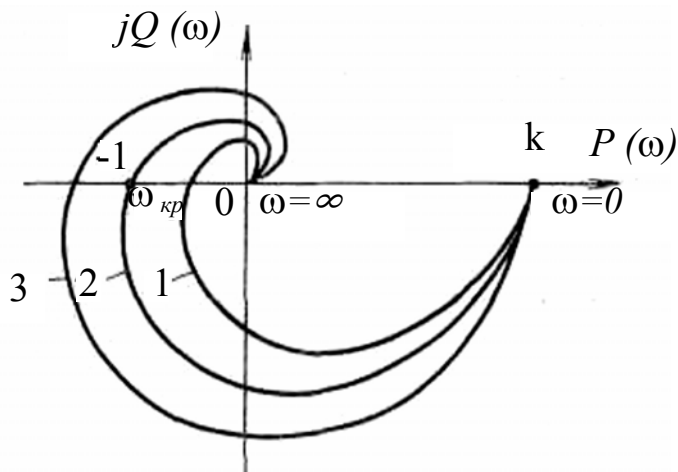


Рис. 6.2. Годограф Найквіста систем, стійких у розімкнутому стані.

- 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 $p=jw$, отримаємо:

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

де w – 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:

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

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, звільнимися 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 кожен точку годографа на кут α за годинниковою стрілкою, отримаємо годограф з урахуванням ланки транспортного запізнення (крива Б).

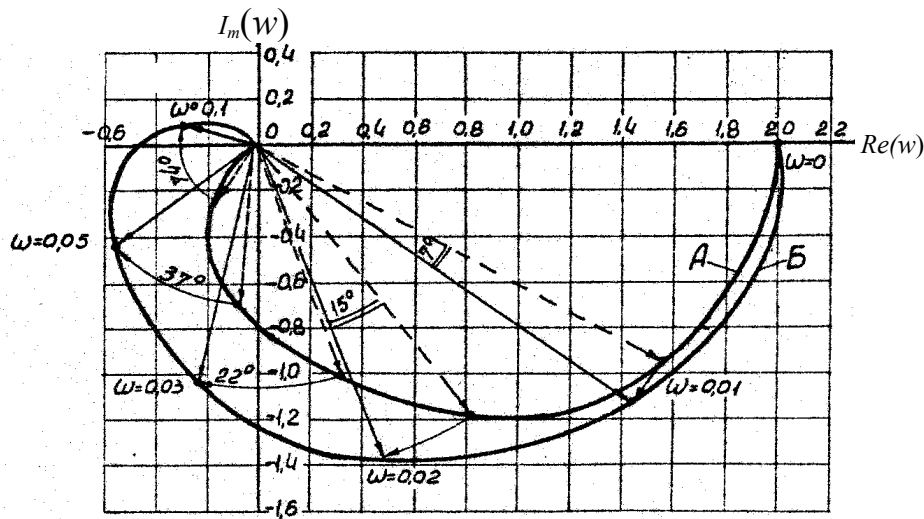


Рис. 6.3. Годограф Найквіста розімкнутої системи:
А – без урахування ланки транспортного запізнення;
Б – з урахуванням транспортного запізнення.

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	$\text{Re}(w)$	$\text{Im}(w)$	$\alpha = w\tau$, 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?

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 пропорційно вхідному переміщенню: електричний опір R , індуктивність L і ємність C (рис. 7.2).

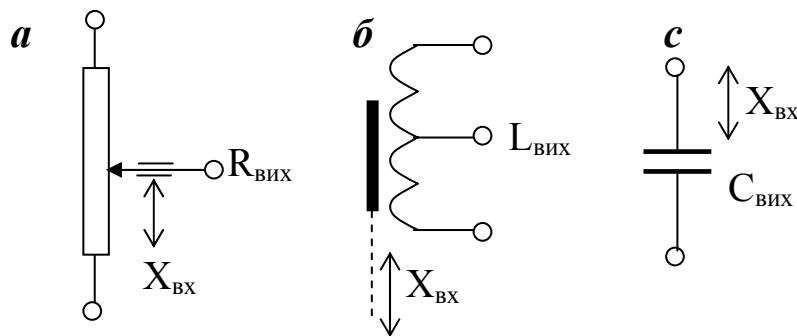


Рис. 7.2. Перетворювачі механічного переміщення:
а – резисторні, б – індуктивні, с – ємнісні.

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:

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

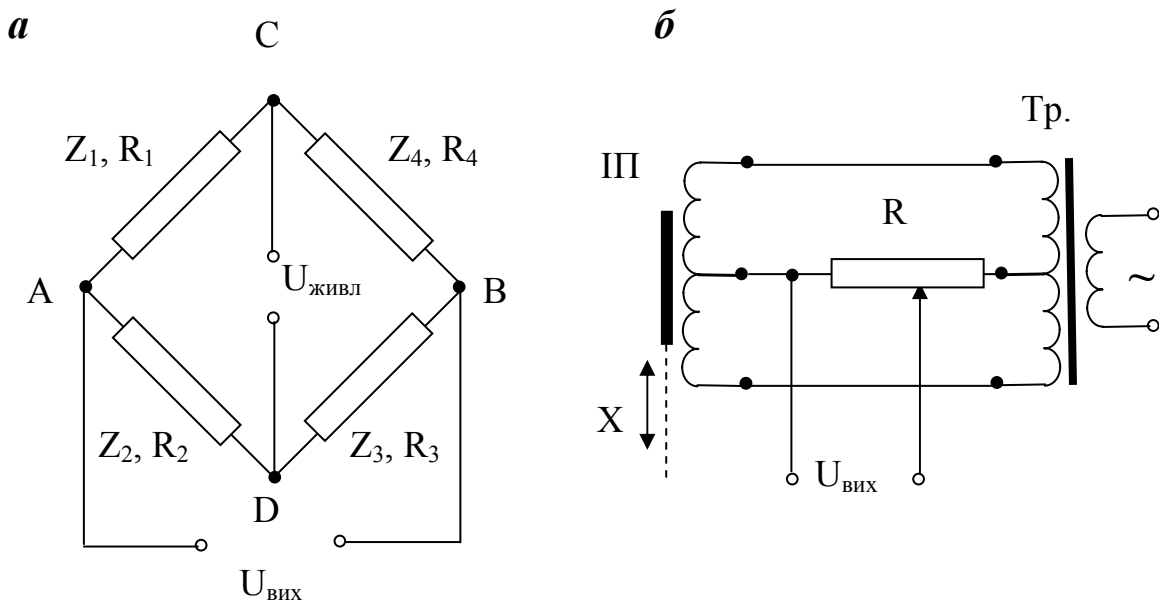


Рис. 7.3. Схеми мостового підключення перетворювачів:
а – загальний випадок; б – мостова схема з індуктивним
перетворенням.

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).

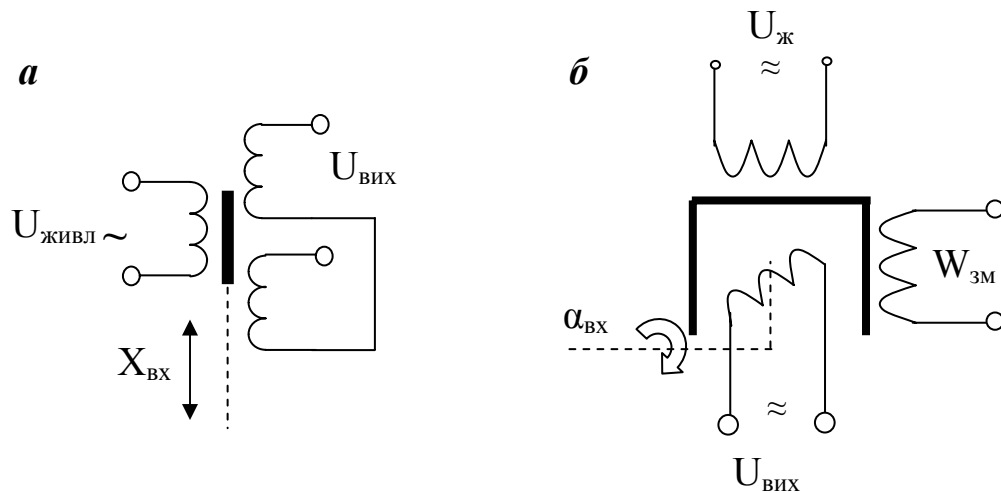


Рис. 7.4. Схема диференціально-трансформаторного (а) і феродинамічного (б) перетворювачів.

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

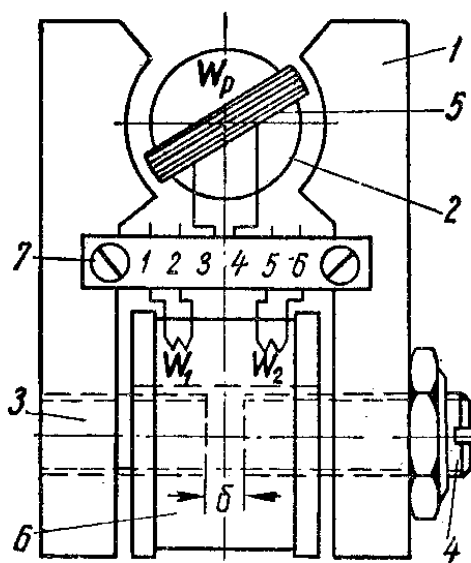


Рис. 7.5. Феродинамічний перетворювач:

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.

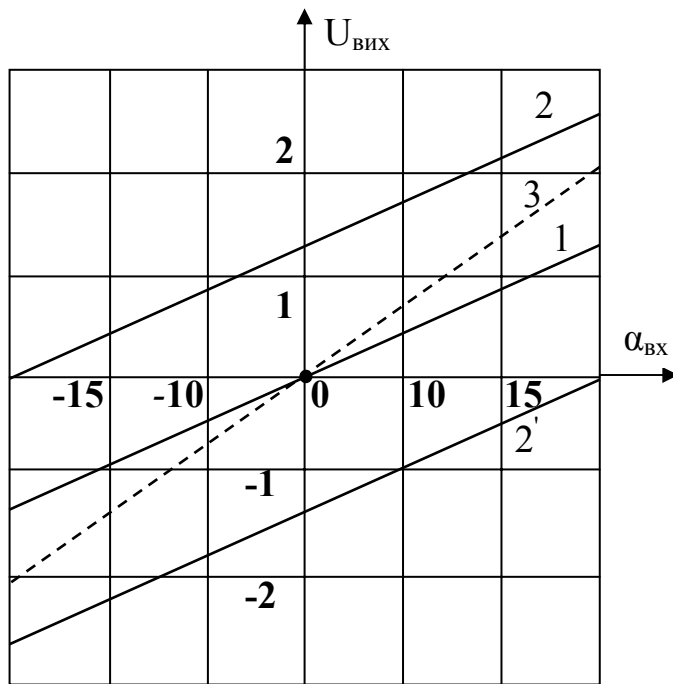


Рис. 7.6. Статичні характеристики феродинамічного перетворювача:

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, спирти), 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 металевий захисний 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 (T) 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 термопар 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 пульп, 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 сильфона.

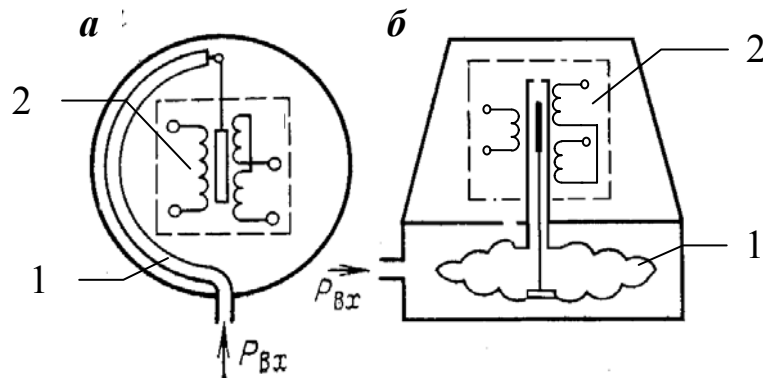


Рис. 7.7. Пружинні манометри: а – з трубчастою пружиною; б – з мембраною; 1 – чутливий елемент; 2 – індукційно-трансформаторний перетворювач.

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.

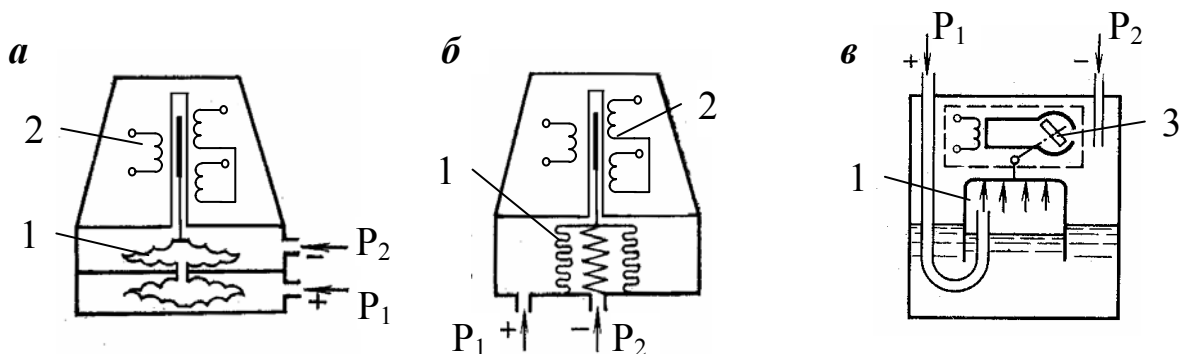


Рис. 7.8. Диференціальні манометри: а – мембранний; б – сильфонний; в – дзвоновий; 1 – чутливий елемент; 2 – трансформаторний перетворювач переміщення; 3 – феродинамічний перетворювач переміщення.

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).

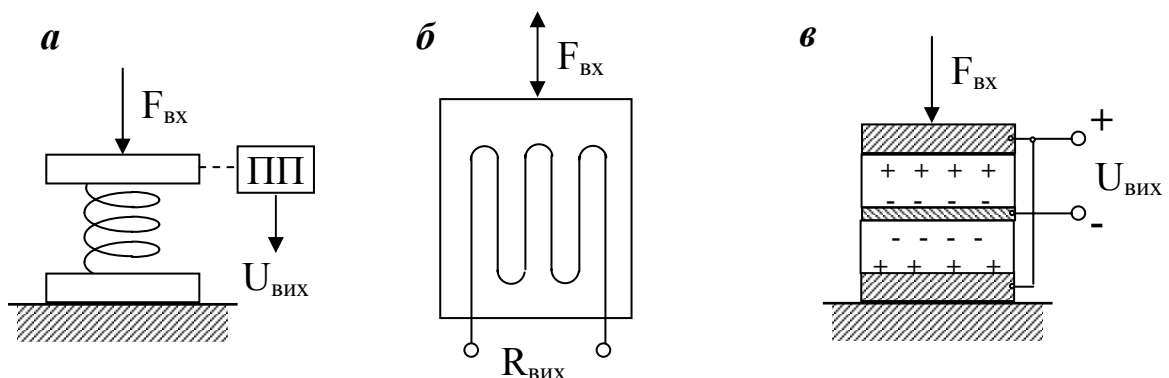


Рис. 7.9. Датчики механічних зусиль:

**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.

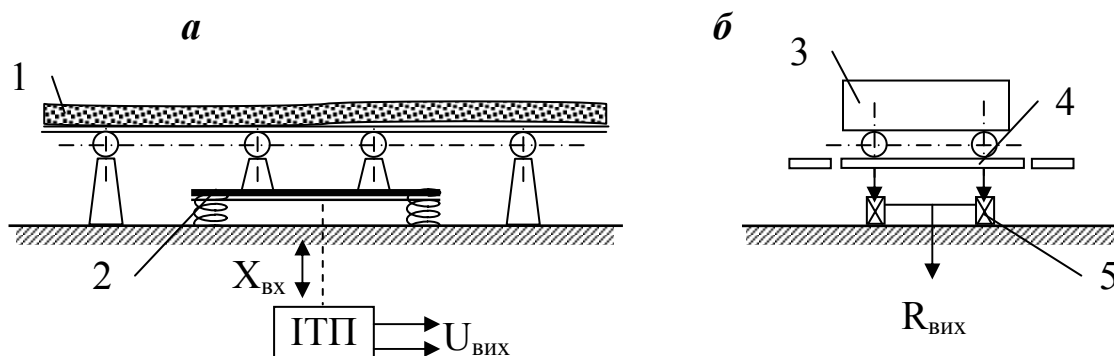


Рис. 7.10. Варіанти контролю продуктивності конвеєра (а) і маси вагона (б): 1 – стрічковий конвеєр; 2 – вагова платформа з пружними елементами; 3 – вагон; 4 – вагова платформа; 5 – тензометричний блок.

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 ($U_{\text{вих}}$).

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.

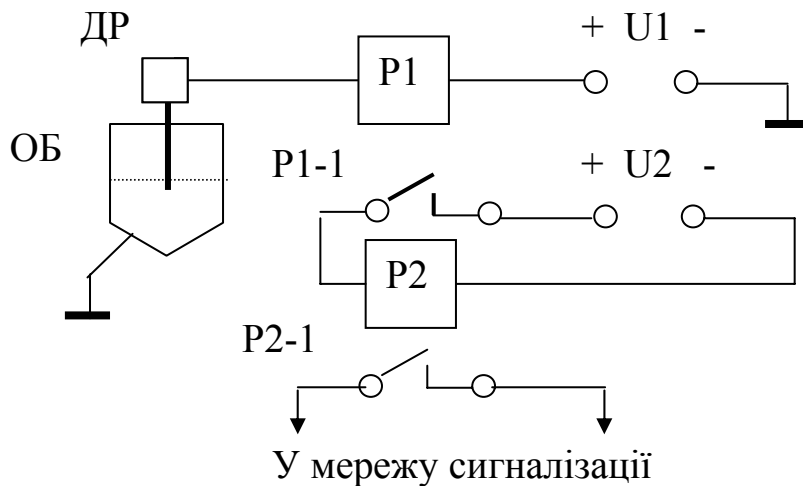


Рис. 7.11. Спрощена схема електродного датчика рівня:
ДР - датчик рівня; ОБ – об'єкт контролю; P1 – обмотка
чутливого реле; P2 – проміжне реле; P1-1 і P2-1 контакти
реле, відповідно, P1 і P2.

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 манометрної 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 $\Delta P = ch \equiv h$.

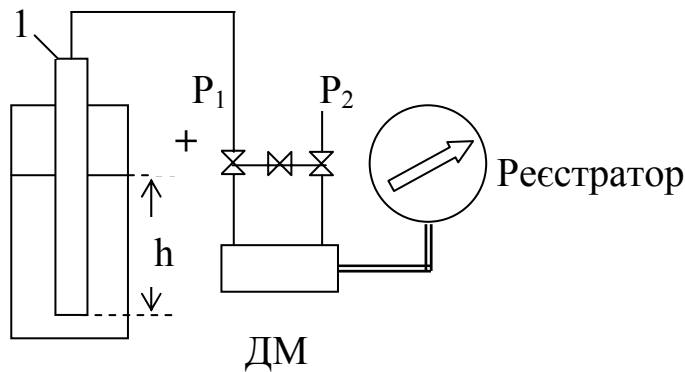


Рис. 7.12. Схема манометричного рівнеміра: ДМ - дифманометр; 1 – патрубок; h – контрольований рівень.

Для даного рівнеміра легко розраховується і вибирається тип дифманометра, який відповідає необхідним межам 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.

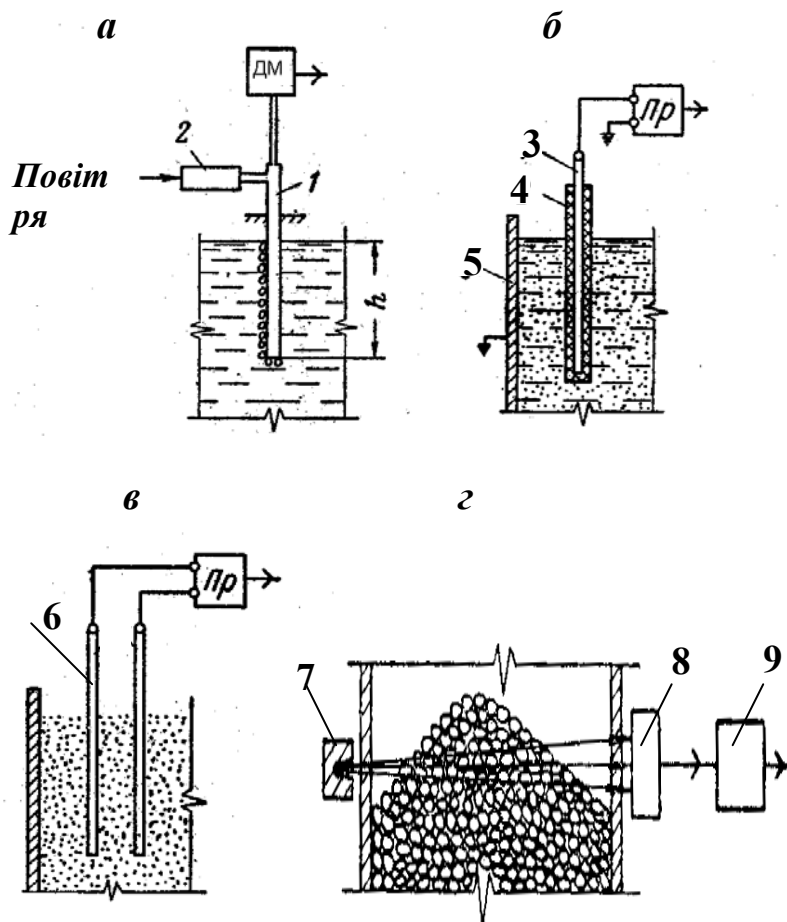


Рис. 7.13. Схеми п'єзометричного (а), ємнісного (б, в) і радіоізотопного (г) рівнемірів:
 1 – п'єзометрична трубка; 2 – редуктор тиску;
 3, 6 – електроди;
 4 – ізоляційний шар; 5 – стінка апарата (другий електрод);
 7 – гамма-джерело; 8 – детектор;
 9 – електронний блок; ДМ – дифманометр; Пр – перетворювач.

Для вимірювання рівня неелектропровідних середовищ використовується первинний перетворювач з двома неізованими 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.

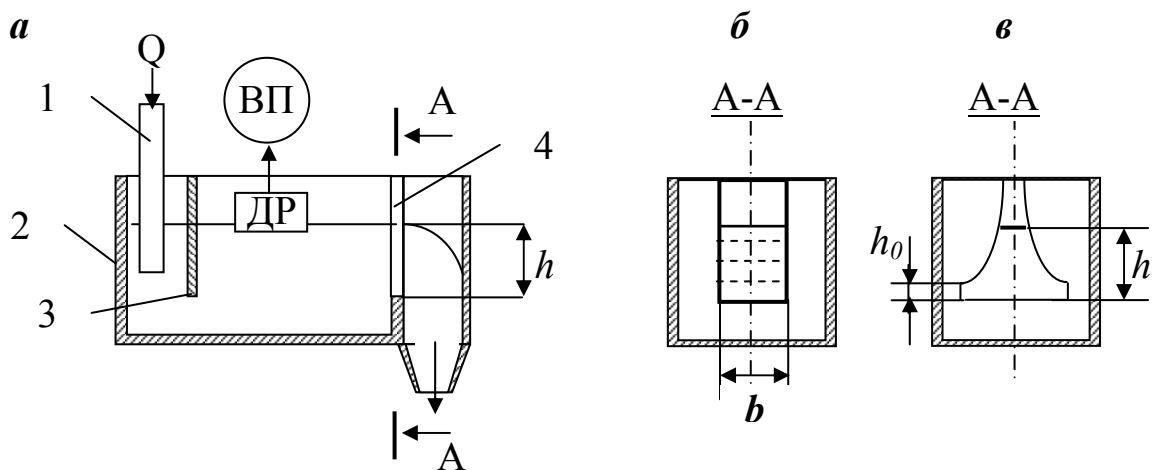


Рис. 7.14. Щілинний витратомір: а – загальна схема; б – прямокутний пульпозлив; в – пропорційний пульпозлив; 1 – живильний патрубок; 2 – витратомірний бак; 3 – перегородка заспокоювання; 4 - перегородка з щілиною витоку; ДР – датчик рівня; ВП – вторинний реєструючий прилад.

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.

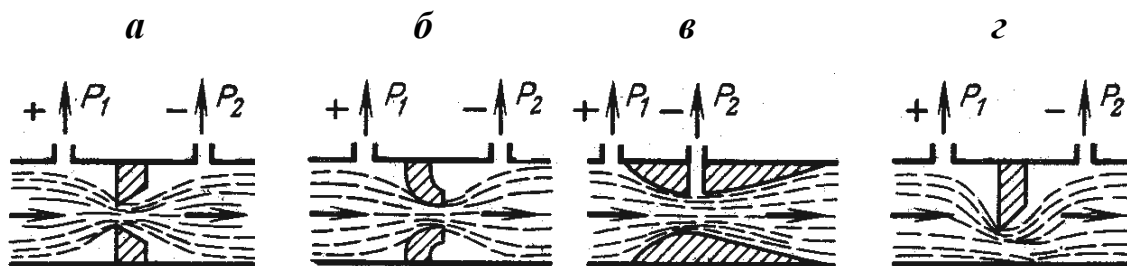


Рис. 7.15. Види звужувальних пристроїв:
а – нормальна діафрагма; б – сопло; в – труба Вентурі;
г – сегментна діафрагма.

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).

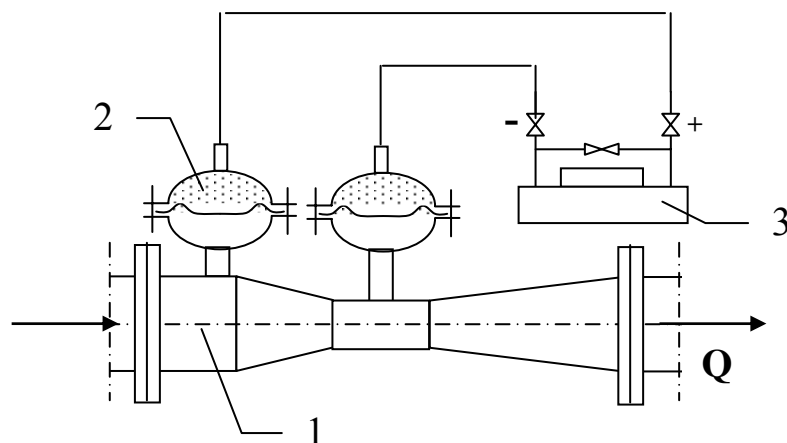


Рис. 7.16. Витратомір з трубою Вентурі:
1 – труба Вентурі; 2 – розділювальні посудини;
3 – дифманометр.

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.

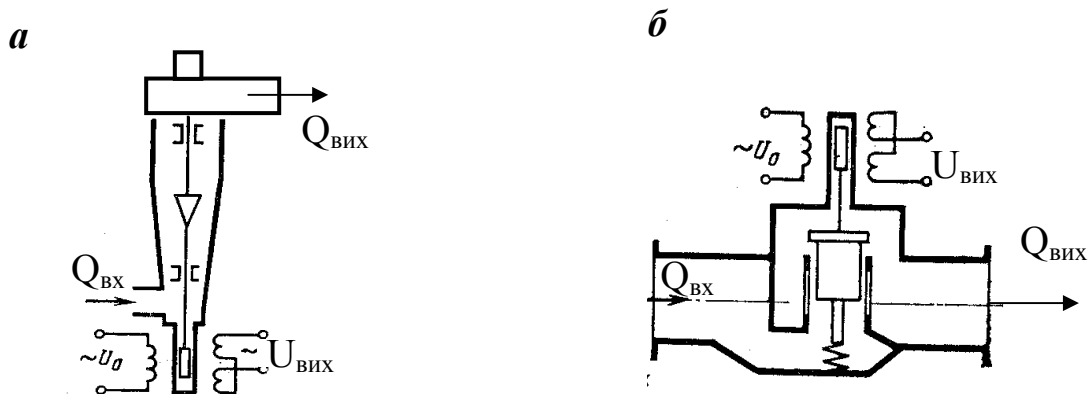


Рис. 7.17. Схема ротаметра (а) і поршневого витратоміра (б).

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:

$$E_{вих} = klHV,$$

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 лійкою (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.

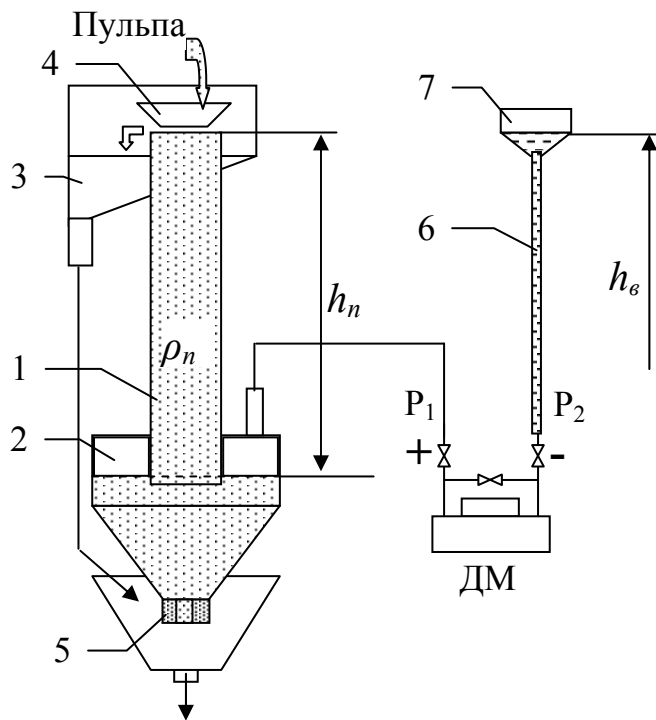


Рис. 7.19. Схема манометричного густиноміра.

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.

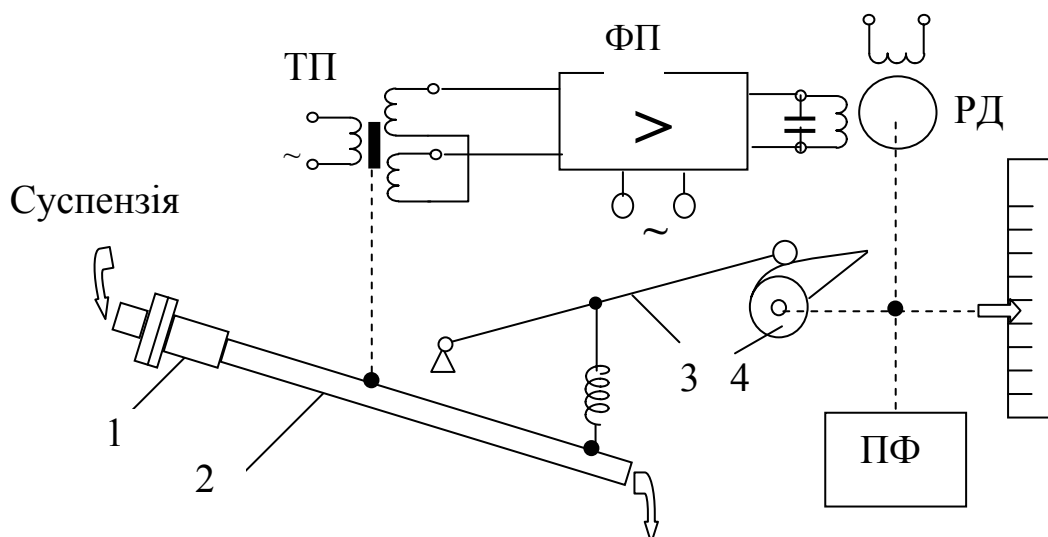


Рис. 7.20. Принципова схема вагового густиніміра ІВФ:
1 – гнучка манжета; 2 – ваговий патрубок; 3 – важіль;
4 – лекало; ТП – трансформаторний перетворювач
переміщення; РД – реверсивний електродвигун;
ФП – фазочутливий підсилювач; ПФ – перетворювач
феродинамічний.

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 патрубків з суспензією.

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

Осердя трансформаторного перетворювача (ТП), жорстко закріплене до патрубків, 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.

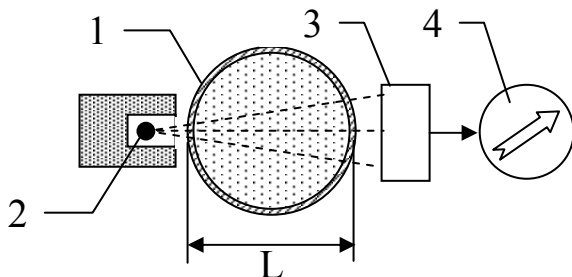


Рис. 7.21. Схема радіоізотопного густиноміра: 1 – трубопровід;
2 – джерело випромінювання;
3 – приймальний пристрій;
4 – реєстратор.

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 залізорудних 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

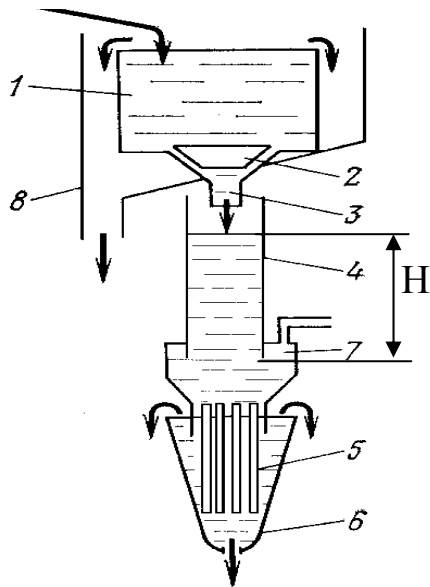


Рис. 7.22. Схема віскозиметра.

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 трубу (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

отже, і 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.

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.

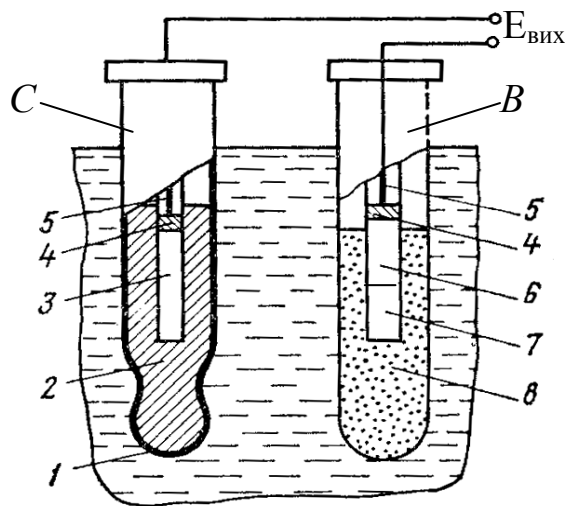


Рис. 7.23. Електродна система для вимірювання рН:
С – скляний електрод;
В – допоміжний електрод.

Для визначення *рН* 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 *рН* 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).

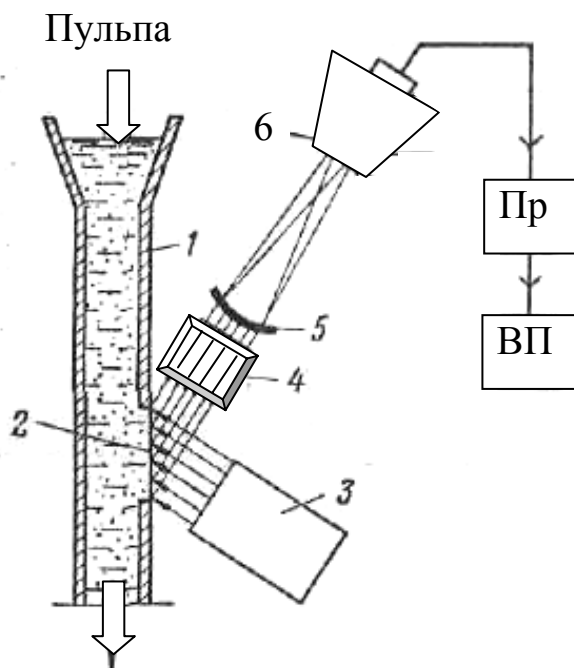


Рис. 7.24. Схема рентгенівського флуоресцентного спектрометра.

випромінювання розкладається у спектр. Характеристичні випромінювання контрольованих елементів по чергові 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 опромінювання 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.

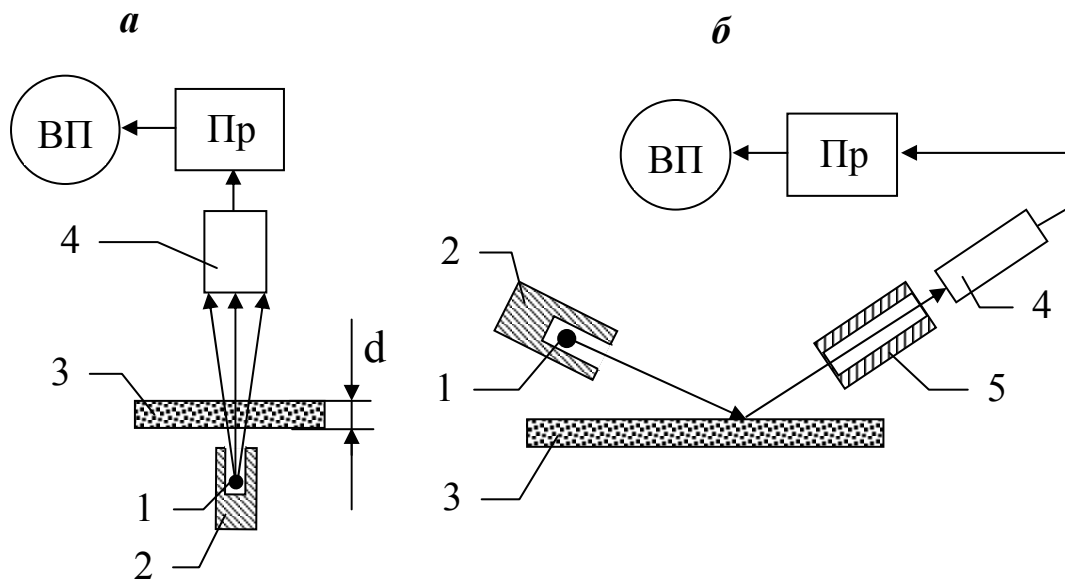


Рис. 7.25. Схеми радіоізотопних аналізаторів:
а – за поглинанням гамма-випромінювання;
б – за розсіюванням гамма-випромінювання.

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.

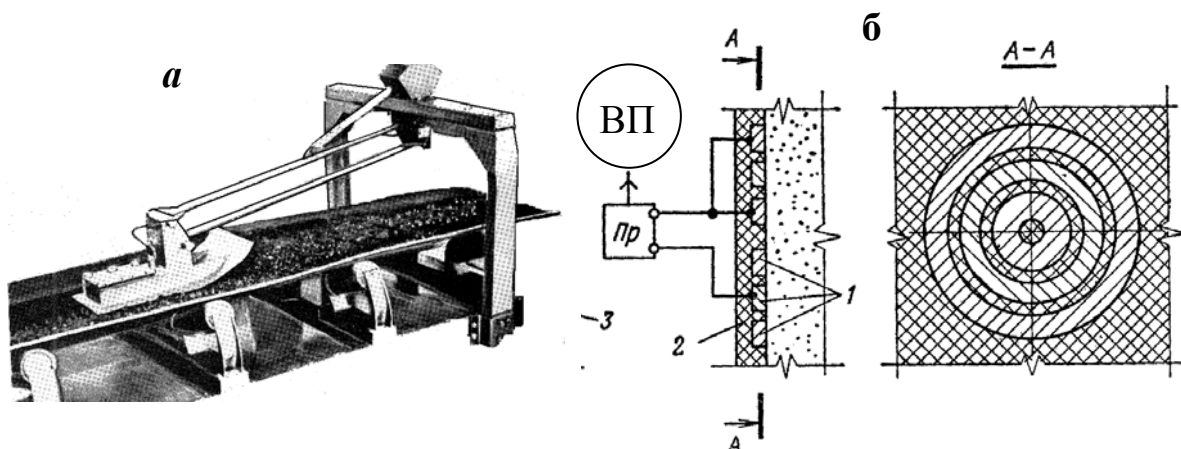


Рис. 7.26. Високочастотний ємнісний вологомір ВАК-4:
а – зовнішній вигляд датчика вологості; б – чутливий елемент;
Пр – перетворювач; ВП – вимірювальний пристрій.

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

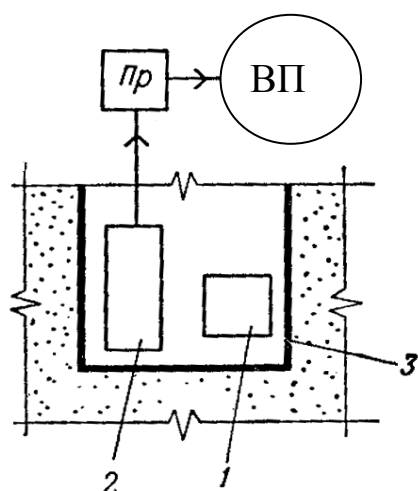


Рис. 7.27. Схема нейтронного вологоміра.

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.

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*.

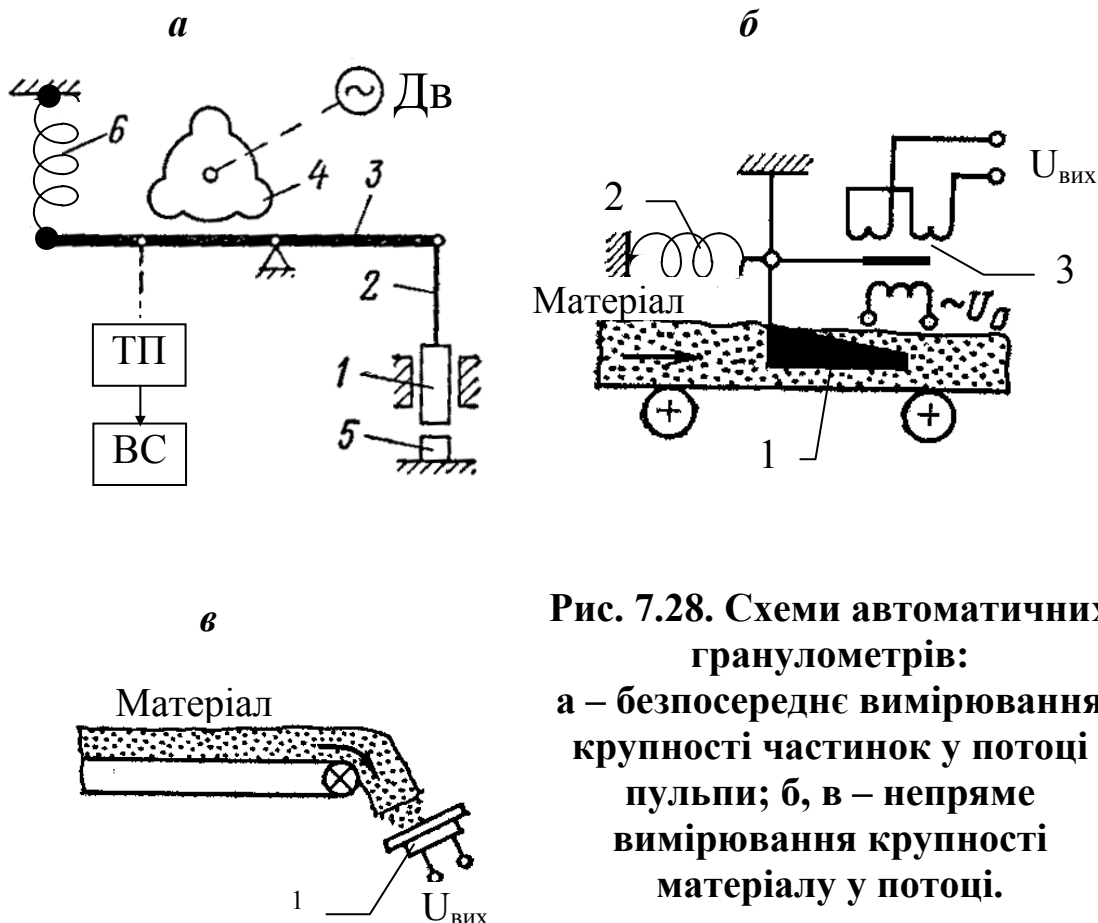


Рис. 7.28. Схеми автоматичних гранулометрів:
а – безпосереднє вимірювання
крупності частинок у потоці
пульпи; б, в – непряме
вимірювання крупності
матеріалу у потоці.

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 порційною 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.