

Розділ 3. Найзагальніші виявлення властивостей об'єктів

3.1. Відношення однорідних властивостей як основа їх проявів

Кожна властивість об'єкту має бути відкритою, явною, тобто виявленою. Після виявлення властивості (величини), її опису та класифікації можна приступати до її кількісного вивчення. Притаманні тому чи іншому об'єкту властивості *виявляються* в їх *відношенні* до однорідних властивостей інших об'єктів. *Відношення*, як філософська категорія і одне з головних понять сучасної математики, являє собою результат зіставлення (порівняння) однорідних властивостей різних об'єктів чи різних сторін конкретного об'єкту. Наприклад: відношення «менше» $a < b$ (теплопровідність дерева менше, ніж металу; товщина пластини менше її довжини), відношення «знаходиться між» (точка А знаходиться між точками В і С, потужність енергоблоку обмежений від 75 до 100% його номінальної потужності), відношення пропорційності $N_A = n \cdot N_B$ (потужність блоку N_A в n раз більша (менша), потужності блоку N_B).

Приклади свідчать, що об'єкт виявляє свої властивості під час відповідного відношення до інших об'єктів або через зіставлення з ними. Таким чином, філософська вагомість такої категорії, як відношення, котре характеризує взаємозалежність елементів певної системи. В об'єктивній реальності властивості та їх відношення існують як речі і явища, визначеними в часі та просторі, як речі та явища, які знаходяться у певних відношеннях. Відношення також різноманітні як різноманітні речі та властивості.

Різнманітність проявів конкретної властивості об'єкту (об'єктів) утворює множину, елементи якої знаходяться у визначених логічних відношеннях між собою.

Серед множини специфічних проявів властивостей є й декілька загальних. Кемпбелл Н.Р. [8] установив для всієї різноманітності властивостей X об'єкта наявність трьох найбільш загальних проявів у

відношеннях *еквівалентності* $R(\approx)$, *порядку* $R(<)$ та *адитивності* $R(+)$, які в математичній логіці аналогічно описуються найпростішими постулатами.

Відношення еквівалентності $R(\approx)$ – це відношення, в якому дана властивість X у різних об'єктів A, B, C виявляється однаковою або неоднаковою; постулати відношення еквівалентності:

- дихотомії [гр. *dichotomia* < *dicha* на дві частини + *tome* переріз] (подібність і відмінність): чи $X(A) \approx X(B)$, чи $X(A) \not\approx X(B)$;
- симетричності: якщо $X(A) \approx X(B)$, то $X(B) \approx X(A)$;
- транзитивності [$<$ лат. *transitus* перехід] з якості (перехід відношення $R(\approx)$): якщо $X(A) \approx X(B)$ та $X(B) \approx X(C)$, то $X(A) \approx X(C)$.

Відношення порядку $R(<)$ – це відношення, в якому дана властивість X у різних об'єктів A і B виявляється більше або менше; постулати відношення порядку:

- антисиметричності: якщо $X(A) > X(B)$, то $X(B) < X(A)$;
- транзитивності з інтенсивності властивості (перехід відношення $R(<)$): якщо $X(A) > X(B)$ та $X(B) > X(C)$, то $X(A) > X(C)$.

Відношення адитивності $R(+)$ – це відношення, коли однорідну властивість різних об'єктів можна підсумовувати; постулати відношення адитивності:

- монотонності (односпрямованості адитивності): якщо, то $X(A) = X(C)$ та $X(B) > 0$, то $X(A) + X(B) > X(C)$;
- комутативності (переміщеності складових): $X(A) + X(B) = X(B) + X(A)$;
- дистрибутивності (розподілу): $X(A) + X(B) = X(A + B)$;
- асоціативності (сполученості): $[X(A) + X(B)] + X(C) = X(A) + [X(B) + X(C)]$;

Кемпбелл Н.Р. показав, що, залежно від комбінацій найбільш загальних проявів, розрізняють такі види вимірюваних властивостей об'єктів, як:

$X_{екв}$ – якісні властивості, які виявляються лише у відношенні еквівалентності;

$X_{инт}$ – неархімедові (інтенсивні) величини, які виявляються у відношеннях еквівалентності та порядку;

$X_{екс}$ – екстенсивні величини, які виявляються у відношеннях еквівалентності, порядку та адитивності.

3.2. Виявлення властивостей у відношенні еквівалентності

Якщо властивості об'єктів виявляють себе тільки у відношенні еквівалентності $R(\approx)$, то вони не є величинами і термін «розмір» для них не можна застосовувати. Але ці властивості можуть бути виявлені, ідентифіковані (ототожені) та класифіковані. Вони можуть мати назву, їм можна присвоїти якусь цифру, що не говорить про розмір, а характеризує лише дану властивість з точки зору пред'явлених до них вимог. Такі властивості притаманні різним видам сигналів (світловий чи звуковий), та тварин (травоїдні чи хижаки), стать людини (жіноча чи чоловіча), а також багатьом каталогам і навіть таблиці Д.І. Менделєєва, якщо її розглядати як перелік найменувань хімічних елементів і використовувати для ідентифікації останніх. Кожна група таких об'єктів відрізняється характерними властивостями та відповідними найменуваннями і розпізнається по еквівалентності шляхом органолептичного аналізу чи технічними засобами, виявлення, контролю та класифікації. Властивості об'єктів, що виявляють себе тільки у відношенні $R(\approx)$, *відбиваються* у філософських термінах теорії пізнання або *відображаються* в термінах сучасної математичної логіки залежно від кількості їх різновидів відповідною кількістю різних чисел. *Така форма віддзеркалення* з кількісним числовим результатом широко використовується, наприклад, *нумерація* ідентичних об'єктів.

Відомо, що *відображення* множини A у множині B (функція на A зі значеннями у B) – це правило, по якому кожному елементу множини A зіставляється один елемент множини B ; якщо таке зіставлення взаємно однозначне в обох напрямках (тобто $f: A \rightarrow B$ і $f: B \rightarrow A$), то *відображення* *ізоморфне*, інакше – *гоморфне* (від гр. *morphe* форма). Очевидно, що властивості об'єктів, які виявляють себе лише у відношенні $R(\approx)$

відображаються ізоморфно, оскільки даному емпіричному об'єкту x_1 відповідає тільки один даний формальний об'єкт N_1 , наприклад, у вигляді числа з множини натуральних чисел N_H і навпаки: $\varphi: x_1 \in X_{екв} \rightarrow N_1 \in (1, \dots, N_H)$.

Таким чином, основним інформативним параметром сукупності об'єктів, властивості яких проявляється лише у відношенні $R(\approx)$, є їх кількість або чисельність, що визначаються шляхом лічби. Лічба – це емпірико-математичний метод, який установлює число елементів сукупності (множини, класів) об'єктів з одною загальною властивістю. Об'єкти, які допускають підрахунок, складають множини дискретних індивідуальних об'єктів, що значно розрізняються, або множину таких об'єктів, з якими можна поводитись як з дискретними. Наприклад, число крапель важко підрахувати поки ми не домовимось про те, що розуміється під терміном «крапля води» та не використаємо якийсь пристрій, скажемо піпетку, яка дозволить масу води розділити на відносно однакові частинки (краплі).

Сукупність об'єктів, чисельний склад яких треба виявити, не обов'язково має бути однорідною. Це можуть бути не тільки об'єкти, однакові за своїм типом, але й дуже різні предмети, наприклад, допоміжне обладнання теплової схеми енергоблоку (помпи, підігрівачі, конденсатори, деаератори тощо).

Нумерація (цифрове найменування) об'єктів, тобто їх позначення послідовними номерами, виконує на практиці ту ж функцію, що і назва. Вона застосовується як до окремих об'єктів, так і до класу об'єктів, наприклад, телефонних абонентів, будинків, вулиць, квартир, енергоблоків, котлів, турбін тощо. Цифрові позначки мають ряд переваг: наочність, інформаційна цінність, полегшене запам'ятовування назв оцифрованих об'єктів, розширювання їх кількості. Приклади об'єктів з притаманними властивостями, які виявляються у відношенні еквівалентності і являються об'єктами енерготехнологій на ТЕС та АЕС, наведені в табл. 3.1.

Аналіз даних таблиці дозволяє зробити такі висновки.

Характерним для підмножин проявів (реалізацій) класифікаційних ознак (*класів еквівалентності*¹) об'єктів є те, що у відповідності з постулатом *дихотомії* усі вони виявлені на альтернативній основі – шляхом класифікації по наявності чи відсутності властивості та присвоєння їм імен (найменувань, назв) – *антонімів* (від гр. *anti* – проти + *onoma* – ім'я), тобто слів з протилежним змістом (значенням).

Відомо, що логічну основу антонімії створюють протилежні видові поняття. Вони входять в об'єм родового поняття, яке віддзеркалює єдину і разом з тим диференційовану «роздвоєну» сутність: білий – чорний (колір), крупні – дрібні (частинки), гаряча – холодна (вода), робочий – резервний (енергоблок) тощо.

Визнають два види протилежностей: *контрарну* (від *contrarius* – протилежний, чи лат. *contra* – проти) та *комплементарну* (від лат. *complementum* – доповненість (додаток)).

Контрарна протилежність виражається видовими поняттями A_T та A_H , між якими можливе бути третє, середнє A_C , і які не тільки заперечують одне одному, але й характеризуються своїм позитивним змістом. *контрарну протилежність* реалізують слова, які дають уявлення про поступову зміну якості властивості: крупні – середні – дрібні (частинки), гаряча – тепла – холодна (вода) тощо.

¹*Клас еквівалентності* – підмножина виявлень вимірюваної властивості, прийнятих умовно нерозрізненими у шкалі вимірювань цієї властивості.

Таблиця 3.1. Деякі об'єкти енерготехнології на ТЕС та АЕС, властивості яких виявляються у відношенні еквівалентності [9]

Об'єкти діяльності	Класифікаційна ознака об'єкту	Назви класів еквівалентності
Енергоблоки	Номінальна потужність енергоблоків.	Блоки потужністю 200 та 300 МВт.
	Число котлів в енергоблоці.	Моно- та дубль блоки.
	Стан енергоблоків.	Робочі та резервні енергоблоки.
	Режим роботи енергоблоків.	Базовий та змінний режими.
Парові турбіни Лопатки турбін Ступені турбін	Рухомі чи ні лопатки турбіни.	Робочі та напрямні лопатки.
	Кут установки відносно осі турбіни профілю робочих лопаток ступені.	Активні та реактивні ступені парової турбіни.
	Функціональне призначення котла.	Парові та водогрійні котли.
Котли	Вид палива.	Вугільні та газові котли.
	Вид циркуляції води у контурі котла.	Природна та вимушена циркуляція.
	В розплавленому чи твердому стані шлак видаляється із топки.	Топки з рідким та твердим шлаковидаленням.
Топки котлів	Параметри гріючої пари.	Підігрівачі низького та високого тиску, (ПНТ) та (ПВТ).
Регенеративні підігрівачі	Наявність чи відсутність стінки між середовищами теплообміну.	ПНТ поверхневі та змішувальні.
Регенеративні підігрівачі низького тиску (ПНТ)	Використовується чи ні вода в ЗУ.	Мокрі та сухі ЗУ.
Золоуловлювачі (ЗУ)	Природа сил механізму уловлення частинок золи в ЗУ.	Механічні та електричні ЗУ.
	Розмірна характеристика кусків вугілля після дробарки.	Куски надрешітного та підрешітного вугілля.
Куски кам'яного вугілля	Розмірна характеристика частинок вугільного пилу після млина.	Тонкість вугільного пилу надситового та підситового.
Вугільний пил після вугільного млина	В якому стані ВЗ видаляються з топки.	Донна зола (шлак) та летюча зола (винос).
Вогнищеві залишки (ВЗ) у топці котла	Вигляд частинок золи, які залишають ЗУ.	Уловлені та неуловлені ЗУ частинки.
Частинки летючої золи (ЛЗ) після ЗУ	Форма частинок ЗШМ.	Нескруглені та скруглені частинки.
Частинки золошлакового матеріалу (ЗШМ)	Період напіврозпаду радіонуклідів ($T_{1/2}$).	Довгоживучі ($T_{1/2} > 24$ год) та короткоживучі радіонукліди.
Радіонукліди АЕС	Енергія нейтронів та властивості речовин, які ними опромінюються в активній зоні реактору.	Продукти ділення та продукти активації ядер елементів.
	Потрапляють чи ні радіонукліди разом з повітрям та їжею в організм людини.	Внутрішнє та зовнішнє опромінення людини.
	У атмосферу чи гідросферу видаляються відходи.	Викиди та скиди технологічних відходів ТЕС та АЕС у довкілля.
Технологічні відходи ТЕС та АЕС, що потрапляють у довкілля	Використовується чи втрачається складова ТСП у енергоблоці та його елементах (котел, паропровід, турбіна).	Використана та втрачена складова ТСП в енергоблоці і його елементах.
Процеси виробництва, транспортування та перетворення теплоти спаленого палива (ТСП) у ТЕУ ТЕС		

Комплементарна протилежність також виражається видовими поняттями A_T та A_H , які (на відміну від контрарної) доповнюють один одного так, що між ними неможливе третє, середнє поняття: моно-дубль (енергоблок), водогрійний – паровий (котел), уловлена – неуловлена (частинка) тощо.

Як видно з табл. 3.1, назви більшості класів еквівалентності – це різнокорінні антоніми, які реалізують комплементарну протилежність.

Більшість об'єктів (енергоблоки, котли, турбіни, регенеративні підігрівачі тощо) входять до складу основного та допоміжного обладнання енергоблоку. Вони виявляються, класифікуються за визначеними якісними ознаками візуально, без будь-яких технічних засобів. Сукупність таких однорідних об'єктів утворюють множину, а їх класи еквівалентності – власні підмножини об'єктів. Тому їх можна перелічити, одержавши загальну кількість об'єктів (A) та кількість об'єктів в кожному класі еквівалентності (A_T та A_H). Балансове рівняння кількості (чисельності) об'єктів буде:

у абсолютній формі $A = A_T + A_H$,

у відносній формі $1 = a_T + a_H$,

де $a_T = \frac{A_T}{A}$ та $a_H = \frac{A_H}{A}$ – частка об'єктів класу еквівалентності відповідно

«так» та «ні». В психології та соціології такі відношення зветься «частотами зустрічаємості» назв класів еквівалентності.

Приклад 3.1. Основу парку енергоблоків енергосистеми складають енергоблоки номінальної потужності $N_e = 300$ МВт загальною чисельністю $A=37$ блоків, із яких $A_T=20$ дубль-блоків (з двома котлами на кожен турбін), $A_H=17$ моноблоків (з однокорпусним котлом на кожному блоці).

Тоді частка енергоблоків енергосистеми буде:

- для класу дубль-блоків $a_T = 20/37 = 0,54$
- для класу моноблоків $a_H = 17/37 = 0,46$

Більш частіше повторюється назва «дубль-блоки», тому клас еквівалентності цих блоків являється модальним, або найбільш багаточисельним класом. Таким чином виявлення властивості енергоблоків дає змогу провести їх класифікацію за якісною ознакою, присвоїти назви класам еквівалентності (дубль, моноблок) та визначити кількісну характеристику кожного класу і модальний клас.

Таким чином, виявлення властивості енергоблоків лише у відношенні еквівалентності простим шляхом дозволяє одержати (лічбою енергоблоків) важливу інформацію про склад парку енергоблоків енергосистеми.

Інша група об'єктів (вугілля, вугільний пил, вогнищеві залишки тощо) складаються з кусків вугілля чи шлаку, або з частинок вугільного пилу чи летючої золи, тобто містять в собі добре розділені, але різні за розміром елементи. Так, наприклад, діапазон коливань розмірів кусків вугілля та шлаку – (0,1–100) мм, частинок вугільного пилу та летючої золи – (0,1–1000) мкм. Ця особливість об'єктів обумовлює впровадження інших способів виявлення властивостей у відношенні еквівалентності та визначення кількості об'єктів в порівнянні з вже розглянутими, як-от:

- оскільки візуальне виявлення розмірних характеристик вугільного пилу неможливе, то в умовах енерговиробництва на ТЕС вони виявляються методом ситового аналізу. Сито з визначеними розмірами вічків, як технічний засіб, використовується для просіювання (розділення) сукупності частинок матеріалу з метою виявлення за дихотомічною ознакою двох класів еквівалентності: клас крупних кусків (частинок), які не пройшли через вічки сита (надситовий продукт), та клас дрібних кусків (частинок), що пройшли через них (підситовий продукт);

- визначення лічбою кількості (чисельності) кусків вугілля та шлаку, або частинок вугільного пилу та летючої золи візуально можливе, але воно дуже трудомістке. Це спонукало заміну операції лічби кількості об'єктів на операцію вимірювання їх маси. Результатом таких вимірювань є значення відповідних мас: загальної маси відібраної проби матеріалу та маси матеріалу кожного класу еквівалентності. Як буде показано далі (Глава 3), результат вимірювання (значення ФВ) – це величина квантована, що складається з цілого ряду одиниць вимірювання (наприклад, загальна маса частинок 2,75 кг=2750 г). Іншими словами, за допомогою одиниці розмір ФВ об'єкта порівнюється з визначеною кількістю індивідуалізованих та однакових за розміром елементів. Тоді такі елементи, як специфічний вид дискретних

об'єктів, можна перелічити і одержати їх кількість (результат лічби об'єктів), яка дорівнює числовому значенню ФВ. Мабуть так можна поступати як з ФВ, які мають матеріально створену одиницю (наприклад, 1 кг маси), так і з ФВ, одиниця яких не матеріалізується (наприклад, одиниця роботи, енергії, теплоти 1 Дж).

Таким чином, після просіювання через окреме сито балансове рівняння по масі чи по числу дискретних об'єктів буде [11]:

$$\text{у абсолютній формі } M = M_R + M_D$$

$$\text{у відносній формі } 1 = R + D,$$

де $R = \frac{M_R}{M}$ та $D = \frac{M_D}{M}$ – частка по масі чи по числу індивідуалізованих елементів відповідно надситового (від нім. Rückstand – залишок) та підситового (від нім. Durchgang – прохід) продукту.

«Залишок» – це частка крупних частинок, «прохід» – частка дрібних частинок матеріалу. Незважаючи на те, що вони віддзеркалюються числами, (крупність та дрібність) як властивість матеріалу не є фізичними величинами об'єктів (див. визначення поняття «фізична величина» в п. 2.2).

Особливо важливе значення має група таких об'єктів, як вогнищеві залишки (ВЗ), до складу яких, як правило, входять домішки важких металів, в тому числі і небезпечних для здоров'я людини. А оскільки ВЗ, як відходи енерговиробництва на ТЕС, повністю видаляються у довкілля, чим суттєво ускладнюють його екологічну безпеку, є нагода показати можливості впливу метрологічних виявлень таких залишків на взаємодії ТЕС з компонентами навколишнього середовища (атмосферою та літосферою) через оцінки викидів до них летючої золи та шлаку.

Як показано на рис. 3.1, після згоряння вугілля ВЗ по масі чи по числу дискретних елементів $M_{ВЗ}$ за станом видалення із топки КУ технологічно та у відповідності з постулатом дихотомії поділяються на два класи еквівалентності: клас видалення ВЗ у вигляді летючої золи (виносу) – ($M_{вин}$) ВЗ, що виноситься із топки як тверда дисперсна фаза димових газів, та клас

видалення у вигляді донної золи (шлаку) $M_{шл}$ – ВЗ, що видаляється із топки як рідкий чи твердий шлак.

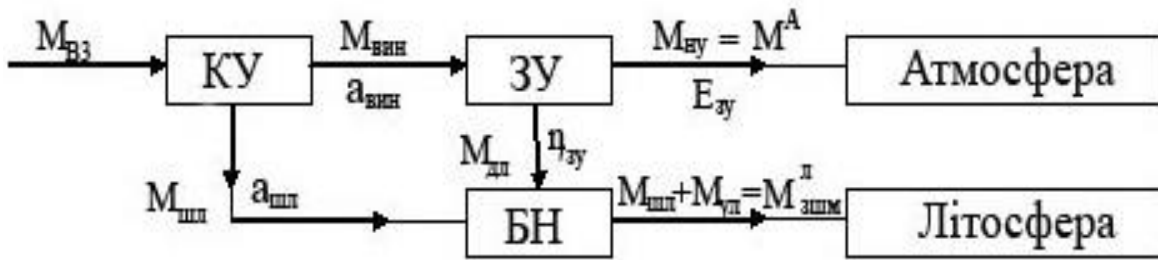


Рис. 3.1. Структурно-технологічна схема видалення летючої золи та золошлакових матеріалів у довкілля

КУ – котельна установка, БН – багерна помпова, ЗУ – золоуловлювач; $M_{ВЗ}$ – маса вогнищевих залишків, які утворюються в топці КУ; $M_{вин}$, $a_{вин}$ та $M_{шл}$ – абсолютна чи відносна маса $M_{ВЗ}$ класів летючої та донної золи (шлаку), відповідно; M_y , $\eta_{зу}$ та M_n , $\epsilon_{зу}$ – абсолютна та відносна маса $M_{вин}$ класів уловлених та неуловлених частинок золи, відповідно; M^A , M^{II} – маса $M_{ВЗ}$, що видаляються до атмосфери чи літосфери, відповідно

Згідно зі схемою, донна зола (шлак) безпосередньо потрапляє до багерної (від гол. bagger – бруд, мул) помпової (БП), а летюча зола $M_{вин}$ (винос) після ЗУ технологічно та дихотомічно розділяється на два протилежні класи: клас уловлених частинок золи M_y та клас неуловлених частинок золи $M_{ну}$. Перші направляються до БП, а другі – через димову трубу до атмосфери. До літосфери (золошлаковідвалу) поступає шлак та уловлена в ЗУ летюча зола.

Виявлені таким чином якісні властивості ВЗ та летючої золи у відношеннях еквівалентності формалізуються їх балансовими рівняннями маси чи кількості сукупності дискретних об’єктів:

<p>• для вогнищевих залишків (топка)</p> $M_{ВЗ} = M_{вин} + M_{шл},$ $1 = a_{вин} + a_{шл},$ $a_{вин} = \frac{M_{вин}}{M_{ВЗ}} \rightarrow M_{вин} = a_{вин} M_{ВЗ}$ $a_{шл} = \frac{M_{шл}}{M_{ВЗ}} \rightarrow M_{шл} = a_{шл} M_{ВЗ}$	<p>• для летючої золи (золоуловлювач)</p> $M_{вин} = M_y + M_n,$ $1 = \eta_{зу} + \epsilon_{зу},$ $\eta_{зу} = \frac{M_{ул}}{M_{вин}} \rightarrow M_{ул} = \eta_{зу} M_{вин}$ $\epsilon_{зу} = \frac{M_{ну}}{M_{вин}} \rightarrow M_{ну} = \epsilon_{зу} M_{вин}$
---	---

Частки η_{zy} у техніці золоочищення димових газів іменуються як «ефективність золоочистки чи ЗУ», та ε_{zy} як «коефіцієнт проскоку золи» чи просто «проскок золи».

Частки $a_{вин}$ та η_{zy} – це важливі режимно-технологічні показники. Як показує експлуатація сучасних вугільних енергоблоків, $a_{вин}$ та η_{zy} тривалий час мають сталі значення, які мають лише незначні коливання і корегуються за результатами випробувань чи окремих спеціальних досліджень за стандартними методиками котельних агрегатів та золоуловлювачів. Тому в практиці енерговиробництва вони використовуються, перш за все, для визначення екологічної безпеки енергоблоку за умов забруднення довкілля викидами вогнищевих залишків.

Приклад 3.2. Енергоблок спалює вугілля зольністю $A^r = 10\%$, годинна масова витрата якого $B = 120$ т/год. За результатами останніх випробувань одержані значення $a_{вин} = 0,8$; $\eta_{zy} = 0,95$. Оцінити масові викиди вогнищевих залишків у довкілля.

Рішення:

• До атмосфери згідно зі схемою рис. 3.1 видаляються неуловлені частинки летючої золи ($M_{ну}$), масовий викид яких визначається через вирази $a_{вин}$ та ε_{zy} :

$$a_{вин} = \frac{M_{вин}}{M_{B3}} \rightarrow M_{вин} = a_{вин} \cdot M_{B3} \quad \varepsilon_{zy} = \frac{M_{ну}}{M_{вин}} \rightarrow M_{ну} = M^A = (1 - \eta_{zy}) \cdot M_{вин}$$

Таким чином одержимо: $M^A = (1 - \eta_{zy}) \cdot a_{вин} \cdot M_{B3}$.

А оскільки загальна масова витрата вогнищевих залишків визначається як:

$$M_{B3} = \frac{A^r}{100} \cdot B = \frac{20}{100} \cdot 120 = 24 \text{ т/год,}$$

то масовий викид летючої золи до атмосфери буде:

$$M^A = (1 - 0,95) \cdot 0,8 \cdot 24 = 0,96 \text{ т/год.}$$

• До літосфери (золошлаковідвалу) видаляються:

- уловлені частинки летючої золи, масовий викид яких ($M_{ул}$)

визначається через вираз η_{zy} як:

$$\eta_{zy} = \frac{M_{y_{\text{пл}}}}{M_{\text{вин}}} \rightarrow M_{y_{\text{пл}}} = \eta_{zy} \cdot M_{\text{вин}} = \eta_{zy} \cdot a_{\text{вин}} \cdot M_{\text{ВЗ}} = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 24 = 18,24 \text{ т/год};$$

- куски та частинки шлаку, масовий викид яких ($M_{\text{шл}}$) визначається через вираз $a_{\text{шл}}$ як:

$$a_{\text{шл}} = \frac{M_{\text{шл}}}{M_{\text{ВЗ}}} \rightarrow M_{\text{шл}} = (1 - a_{\text{шл}}) \cdot M_{\text{ВЗ}} = (1 - 0,8) \cdot 24 = 4,8 \text{ т/год}.$$

Таким чином масовий викид золошлакових матеріалів (ЗШМ) до літосфери буде складати:

$$M_{\text{ЗШМ}}^{\text{л}} = M_{y_{\text{пл}}} + M_{\text{шл}} = 18,24 + 4,8 = 23,04 \text{ т/год}.$$

Не менш важливі для енерговиробництва на ТЕС є показники енергетичної ефективності енергоблоку та його елементів, визначення яких ґрунтується на класифікації теплоти спаленого палива (ТСП) за дихотомічною ознакою (використовується чи втрачається теплота) [10]. Згідно з нею, ТСП в процесах її виробітку (котельна установка), транспортування (паропровід свіжої пари) та перетворення у механічну та електричну енергію (турбогенераторна установка) поділяється на два класи еквівалентності: клас використаної теплоти та клас втраченої теплоти рис. 3.2. Частка використаної теплоти в теплоенергетиці називається коефіцієнтом корисної дії (ККД) – η , а частка втраченої теплоти – коефіцієнтом втраченої теплоти – ϵ , які позначаються відповідно для процесу виробітку теплоти котельною установкою через $\eta_{\text{ку}}$ та $\epsilon_{\text{ку}}$, для процесу транспортування теплоти свіжої пари паропроводом через $\eta_{\text{пп}}$, $\epsilon_{\text{пп}}$ та процесу перетворення у механічну та електричну енергію турбогенераторною установкою через $\eta_{\text{ту}}^a$, $\epsilon_{\text{ту}}$ (тут $\eta_{\text{ту}}^a$ – це ККД перетворення ТСП турбогенераторною установкою з урахуванням ККД електрогенератора) [12].

Згідно зі схемою рис. 3.2 ККД складових елементів енергоблоку визначаються через балансові рівняння кількості ТСП, як-от:

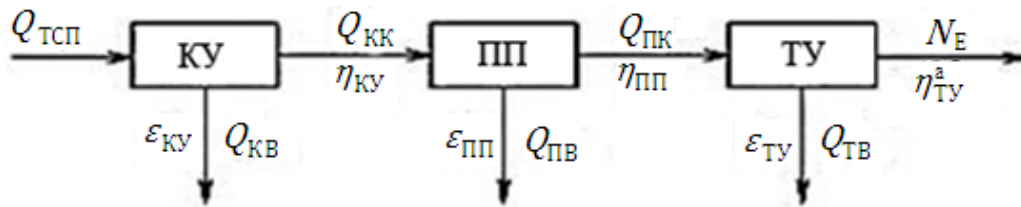


Рис. 3.2. Структурно-технологічна схема використання теплоти спаленого палива
 КУ – котельна установка, ПП – паропровід, ТУ – турбінна установка

ПП – паропровід, яким вироблена КУ пара подається до ТУ; $Q_{\text{ТСП}}$ – кількість теплоти спаленого палива; $Q_{\text{КК}}$, $\eta_{\text{КУ}}$ та $Q_{\text{КВ}}$, $\varepsilon_{\text{КУ}}$ – абсолютна чи відносна кількість $Q_{\text{ТСП}}$ класів використаної та втраченої в КУ, відповідно; $Q_{\text{ПК}}$, $\eta_{\text{ПП}}$ та $Q_{\text{ПВ}}$, $\varepsilon_{\text{ПП}}$ – абсолютна чи відносна кількість $Q_{\text{КК}}$ класів переданої паропроводом та втраченої в ньому, відповідно; N_e , $\eta_{\text{ТУ}}^a$ та $Q_{\text{ТВ}}$, $\varepsilon_{\text{ТУ}}$ – абсолютна та відносна кількість $Q_{\text{ПК}}$ класів перетвореної ТУ та втраченої в ній, відповідно:

<ul style="list-style-type: none"> • для котельної установки $Q_{\text{ТСП}} = Q_{\text{КК}} + Q_{\text{КВ}}$ $\eta_{\text{КУ}} + \varepsilon_{\text{КУ}}, \text{ де}$ $\eta_{\text{КУ}} = \frac{Q_{\text{КК}}}{Q_{\text{ТСП}}} \rightarrow Q_{\text{КК}} = \eta_{\text{КУ}} Q_{\text{ТСП}}$ $\varepsilon_{\text{КУ}} = \frac{Q_{\text{КВ}}}{Q_{\text{ТСП}}} \rightarrow Q_{\text{КВ}} = \varepsilon_{\text{КУ}} Q_{\text{ТСП}}$	<ul style="list-style-type: none"> • для паропроводу $Q_{\text{КК}} = Q_{\text{ПК}} + Q_{\text{ПВ}}$ $\eta_{\text{ПП}} + \varepsilon_{\text{ПП}}, \text{ де}$ $\eta_{\text{ПП}} = \frac{Q_{\text{ПК}}}{Q_{\text{КК}}} \rightarrow Q_{\text{ПК}} = \eta_{\text{ПП}} Q_{\text{КК}}$ $\varepsilon_{\text{ПП}} = \frac{Q_{\text{ПВ}}}{Q_{\text{КК}}} \rightarrow Q_{\text{ПВ}} = \varepsilon_{\text{ПП}} Q_{\text{КК}}$	<ul style="list-style-type: none"> • для турбінної установки $Q_{\text{ПК}} = N_e + Q_{\text{ТВ}}$ $\eta_{\text{ТУ}}^a + \varepsilon_{\text{ТУ}}, \text{ де}$ $\eta_{\text{ТУ}}^a = \frac{N_e}{Q_{\text{ПК}}} \rightarrow N_e = \eta_{\text{ТУ}}^a Q_{\text{ПК}}$ $\varepsilon_{\text{ТУ}} = \frac{Q_{\text{ТВ}}}{Q_{\text{ПК}}} \rightarrow Q_{\text{ТВ}} = \varepsilon_{\text{ТУ}} Q_{\text{ПК}}$
---	--	--

Скориставшись виразами для $Q_{\text{КК}}$, $Q_{\text{ПК}}$, та ККД енергоблоку можна визначити як:

$$\eta_{\text{бл}} = \frac{N_e}{Q_{\text{мсп}}} = \frac{\eta_{\text{ТУ}}^a Q_{\text{ПК}}}{Q_{\text{мсп}}} = \frac{\eta_{\text{ТУ}}^a \eta_{\text{ПП}} Q_{\text{КК}}}{Q_{\text{мсп}}} = \frac{\eta_{\text{ТУ}}^a \eta_{\text{ПП}} \eta_{\text{КУ}} Q_{\text{ТСП}}}{Q_{\text{мсп}}} = \eta_{\text{ТУ}}^a \eta_{\text{ПП}} \eta_{\text{КУ}}$$

Тоді коефіцієнт втраченої теплоти енергоблоку буде:

$$\varepsilon_{\text{бл}} = 1 - \eta_{\text{бл}} = 1 - \eta_{\text{ТУ}}^a \eta_{\text{ПП}} \eta_{\text{КУ}}$$

Приклад 3.3. Якої потужності досягне енергоблок під час спалення вугілля, масова годинна витрата якого становить $B=120$ т/год, а питома теплота згоряння $Q_f^i = 21$ МДж/кг. По результатам останніх випробувань ККД елементів енергоблоку знаходяться на рівні: $\eta_{\text{КУ}}=0,9$, $\eta_{\text{ПП}}=0,99$, $\eta_{\text{ТУ}}^a = 0,46$.

Рішення

Одержимо ККД енергоблоку: $\eta_{\text{бл}} = \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{ту}}^a = 0,9 \cdot 0,99 \cdot 0,46 = 0,40986$

Теплота спаленого палива буде:

$$Q_{\text{тсп}} = BQ_i^r = 120 \cdot 10^3 \cdot 21 = 2,52 \cdot 10^6 \frac{\text{МДж}}{\text{год}} = 2,52 \cdot 10^6 \frac{\text{МДж}}{3600 \text{ с}} = 700 \frac{\text{МДж}}{\text{с}}$$

Використану ТСП (електричну потужність енергоблоку – N_e) визначимо із виразу:

$$\eta_{\text{бл}} = \frac{N_e}{Q_{\text{тсп}}} \rightarrow N_e = \eta_{\text{бл}} Q_{\text{тсп}} = 0,40986 \cdot 700 = 286,9 \frac{\text{МДж}}{\text{с}} = 286,9 \text{ МВт.}$$

Як бачимо, виявлення якісних властивостей об'єктів у відношенні еквівалентності дозволяє провести лише їх класифікацію по класам еквівалентності за дихотомічними ознаками та присвоїти їм назви. Перехід від назв об'єктів до числа проводиться шляхом лічби загальної чисельності (кількості) об'єктів і об'єктів кожного класу. Заміна інформаційної операції лічби чисельності (кількості) специфічних об'єктів (куски вугілля, шлаку та частинок вугільного пилу, летючої золи) на інформаційну операцію вимірювання їх властивостей (маси сукупності частинок) суттєво спрощує одержання кількісного відображення об'єктів.

Об'єкти, якісні властивості яких виявляються у відношенні еквівалентності, широко використовуються у енерговиробництві на ТЕС від основного та допоміжного обладнання (котли, турбіни, підігрівачі тощо), специфічних об'єктів технологій підготовки та спалення вугілля до процесів виробітку, транспортування та перетворення підведеної у термодинамічному циклі ТЕУ теплоти спаленого палива. Класифікація ТСП у таких процесах за дихотомічною ознакою уможливила одержання важливих самодостатніх режимно-технологічних та екологічних показників роботи енергоблоку. За їх допомогою оцінюються енергетична ефективність енергоблоку та його екологічна безпека за умов викиду у довкілля вогнищевих залишків.

3.3. Виявлення властивостей у відношеннях еквівалентності та порядку

Відносно багатьох об'єктів часто можна сказати, що вони не тільки відрізняються один від іншого, але й те, що якої-небудь ознаки у одних більше, ніж у інших. Так, якщо класифіковані вище однорідні об'єкти розташувати в черзі зростання чи убутання класифікаційної ознаки, то такі класи об'єктів будуть виявлятися по цій ознаці у відношенні еквівалентності $R(\approx)$ і порядку $R(<)$. Але це відноситься лише до об'єктів протиставлення (антонімів даного класу еквівалентності), які виражають контрарну протилежність, яка на відміну від комплементарної виявляє градуальні (ступеневі) протиставлення, тобто поступову зміну якості (інтенсивності властивості). Наприклад, крупні частинки пилу можна ще поділити за тією ж ознакою на менш крупні, середні тощо, чого не можна зробити з уловленими частинками за ознакою уловлені-неуловлені.

Об'єкти протиставлення, яким притаманна наявність крайніх ступенів даної ознаки (мінімальної чи максимальної), називаються крайніми або зовнішніми, останні – середніми. Крайні об'єкти, на відміну від середніх, виявляють симетричні відношення і відстоять один від одного на однаковій семантичній (змістовій) відстані від середнього (нормального) об'єкта (див. рис. 3.3).

Температурний стан води як органолептична властивість, виявляється наприклад, на дотик. Багаточисельні дослідження показують, що людина більш правильно (з меншими утрудненнями) відповідає на питання якісного (порівняльного) характеру, ніж кількісного. Так, легше визначити, який із двох об'єктів тепліший, ніж зазначити на скільки, або у скільки разів один тепліше іншого. Тому об'єкти з виявленою на дотик якісною ознакою (холодна-гаряча) можна розташувати по ранжиру (нім. *Rangierung* – фр. *ranger* – ставити в ряд) зростання ознаки, що надає властивостям об'єктів кількісний зміст. Тобто властивість кожного об'єкту у ранжирі виявляється у відношеннях еквівалентності $R(\approx)$ і порядку $R(<)$.

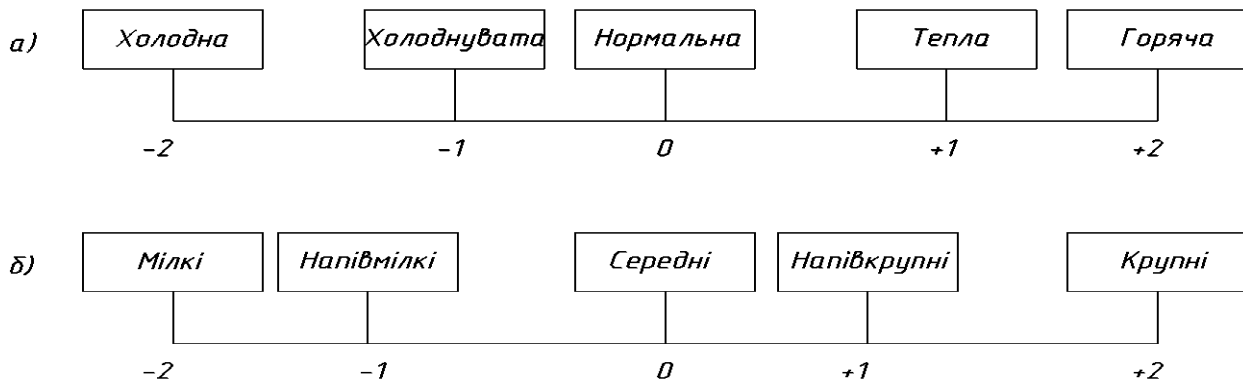


Рис. 3.3. Ряди градуальних протиставлень якісних властивостей
 а) температури води; б) розмірних характеристик кусків (частинок) вугілля

Історичним прикладом виявлення органолептичної властивості є контроль процесу випалу фарфору у стародавньому Китаю по плавленню пірамідок, які виготовляли із шихти різного складу і поміщали у піч разом з фарфоровими виробами. Температура в печі підвищувалась до тих пір, поки не починала змінюватись форма (осідати, нахилитися) відповідної пірамідки. Сучасна оцінка температури за фактом плавлення матеріалів складає похибку на рівні $\pm 5\%$ [1].

В теплоенергетиці “шихтою” є зола вугілля, яка суттєво ускладнює технологічний процес його спалення на ТЕС (ошлакування поверхонь нагріву котлів, топок, тракту шлаковидалення тощо). Запобігання ускладнень починається з контролю температурних характеристик золи.

Зола вугілля – це суміш оксидів різних металів, температура плавлення яких знаходиться в дуже широкому діапазоні від 900 до 2800 °С. Більш того, під час нагрівання золи має місце взаємодія її компонентів з утворенням проміжних з’єднань, температура плавлення яких може значно відрізнитись від температури плавлення початкових речовин. Внаслідок цього плавлення золи проходить у певному інтервалі температур. А якщо врахувати суттєвий вплив на такий інтервал складу газового середовища, в якому зола нагрівається, то стане ясно, чому поняття «температура плавлення», властиво лише для чистих речовин, а для золи непридатне. Замість нього в котельній техніці використовується поняття «температура плавкості» золи [11].

У вітчизняній практиці велике поширення одержав стандартний прямий візуальний метод визначення плавкості золи (ГОСТ 2057-94), згідно з яким, плавкість золи визначається шляхом нагрівання у спеціальній печі в напіввідновному газовому середовищі зразка золи у вигляді пірамідки, яку формують із дрібнороздробленої проби золи. Під час нагрівання візуально спостерігають за змінами форми та стану зразка і вимірюють відповідні таким змінам температури. Температурні характеристики плавкості золи, залежні від її складу та складу газового середовища, оцінюються по трьом характерним формам та стану зразка золи (див. рис. 3.4), які він приймає в процесі послідовного зростання температури до:

t_A – температури початку деформації (спостерігаються перші ознаки розм'якшення зразка золи – зміна поверхні, закруглення країв чи нахил взірця);

t_B – температури напівсфери (зразок приймає форму напівсфери чи вигинається так, що його вершина торкається підставки);

t_C – температури рідкоплавкого стану (зразок золи розтікається по підставці).

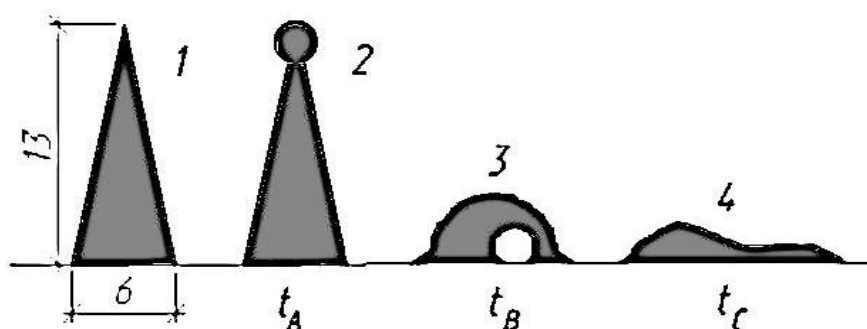


Рис. 3.4. До визначення плавкості золи по формі та стану взірця золи
1 – до нагрівання; 2 – початкова деформація; 3 – розм'якшення; 4 –рідкоплавкий стан

Таким чином, згідно до умов оцінки плавкості золи, неперервність та упорядкованість за схожістю (близькістю) змін органолептичних властивостей (форма та стан) золової пірамідки обумовлені упорядкованістю змін її температури.

Залежно від рівня температури рідкоплавкого стану зола енергетичного вугілля поділяється на: середньоплавку ($1200\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_C \leq 1425\text{ }^{\circ}\text{C}$), легкоплавку,

якщо $t_c < 1200$ °C та тугоплавку $t_c > 1425$ °C [13].

Із наведених прикладів видно, що об'єкти (вода та зразок золи) свої органолептичні властивості (температурний стан води та зразка золи) виявляють не лише у відношенні еквівалентності (холодна та гаряча вода або легкоплавка та тугоплавка зола). Їх властивості виявляються також у відношенні наявності у них кількісної ординати властивості – інтенсивності, наприклад, монотонно зростаюча температура води чи золи. При розчленуванні такого об'єкту його властивості звичайно залишаються незмінними і називаються *інтенсивними (неархімедовими) величинами*. Порівняннями інтенсивних величин можна визначити їх співвідношення, упорядкувати за інтенсивністю даної властивості і кількісно оцінити монотонно зростаючими або числами, що убувають.

Ряди градуювальних протиставлень розмірних характеристик кусків (частинок) вугілля на рис. 3.3 б) виявляються просіюванням через сита. Але, на відміну від просіювання матеріалу через одне сито, для виявлення властивості лише у відношенні еквівалентності (див. п. 3.2), просіювання через два сита з різними розмірами вічків виявляє властивість у відношеннях еквівалентності і порядку.

Розглянемо приклад такого просіювання, який використовується на ТЕС для контролю роботи дробарок та вугільних млинів у технологічному процесі підготовки вугілля до спалення.

Контроль є різновидом процедури розпізнання стану об'єкта: (нижче норми, норма, вище норми). Контролем називається процедура установлення відповідності між станом об'єкта та нормою. Для реалізації процедури найпростішого однопараметрового контролю необхідні взірцеві об'єкти, характеризуючи параметри яких рівні, відповідно, x_n – нижній границі норми і x_e – верхній границі норми та засіб порівняння. Результатом контролю є характеристика про знаходження об'єкту в нормі чи поза неї, яка виражається нерівностями:

- вище норми $x > x_e$,

- норма $x_n < x < x_6$,
- нижче норми $x_n > x$.

Після просіювання, наприклад, проби вугільного пилу через два сита з вічками розміром 200 мкм (δ_{200}) та 90 мкм (δ_{90}), залишок на кожному ситі зветься фракційним (або фракцією) і позначається F_{200} та F_{90} . Прохід через друге сито (D_{90}) зветься дно. Фракційний залишок на другому ситі, складений з залишком на першому ситі, зветься повним залишком, тобто $R_{90} = F_{200} + F_{90}$. Залишок на першому ситі являється і фракційним, і повним, тобто $F_{200} = R_{200}$. Таким чином, після просіювання відібраної проби вугільного пилу кількістю M через два сита будемо мати балансове рівняння кількості (чисельності) чи маси частинок пилу:

- у абсолютній формі $M = M_{F_{200}} + M_{F_{90}} + M_{D_{90}}$
- у відносній формі $1 = F_{200} + F_{90} + D_{90}$, або $1 = R_{90} + D_{90}$,

де $F_{200} = \frac{M_{F_{200}}}{M}$, $F_{90} = \frac{M_{F_{90}}}{M}$ та $D_{90} = \frac{M_{D_{90}}}{M}$ – частка по числу чи масі частинок надситового (фракційні залишки $F_{200} = R_{200}$ і F_{90}) та підситового (прохід D_{90}) відповідно.

Таким чином, просіювання пилу через два сита обумовило його поділ за розміром на три сукупності частинок:

- крупних (залишок на першому ситі F_{200}) розміром – $\delta_{F_{200}} > \delta_{200}$.
- середніх (фракційний залишок на другому ситі F_{90}) розміром $\delta_{90} < \delta_{F_{90}} < \delta_{200}$.
- дрібних (прохід через друге сито D_{90}) розміром $\delta_{D_{90}} < \delta_{90}$.

Постулат транзитивності з інтенсивності властивості об'єднує розміри частинок сукупностей нерівностями $\delta_{F_{200}} > \delta_{F_{90}} > \delta_{D_{90}}$, які виражають властивість упорядкування їх розмірів. Якщо прийняти, що розмір частинок фракційного залишку на ситі $\delta_{F_{90}}$ є нормальним розміром цієї сукупностей частинок, то одержані нерівності розмірів частинок після просіювання пилу через два сита збігаються з нерівностями, одержаними вище із загальних уявлень про контроль як метрологічну процедуру.

Параметр R_{90} є важливим режимно-технологічним показником, за допомогою якого оцінюється тонкість помелу вугільного пилу. Оптимальне значення його під час спалювання вугілля знаходиться на рівні $R_{90}=7-10\%$. Оптимальним значенням показника крупності вугільної дробенки, яка просіюється через два сита з розмірами вічок 5×5 та 10×15 мм, є $R_5=19-27\%$.

В наведеному прикладі сита виконують два важливих метрологічних призначення. Перше сито – це технічний засіб для виявлення властивості сипучих матеріалів, яким притаманна якісна протилежність (назви класів крупних-дрібних) з градуальними змінами – поступовим убуванням розмірів частинок, тобто з деякими кількісними, але до кінця не визначеними властивостями. Вугільний пил – це сукупність різних за розміром частинок вугілля, кожна з яких має неправильну форму, несхожу на форму куба чи кулі. Тому під час просіювання пилу через сито максимальний розмір частинки приймається рівним розміру квадратного вічка сита, через яке частинка не може пройти, а мінімальний – будь-який розмір частинок, що уможлиблює їх проходження через вічко даного сита. Таким чином, просіювання пилу не визначає фактичний розмір частинок пилу в залишках F_{200} чи F_{90} та проходить D_{90} і не дає відповіді, наскільки (або у скільки разів) розміри частинок залишків різняться між собою. Але просіювання виявляє кількісні властивості, які характеризують розміри частинок сукупностей F_{200} , F_{90} та D_{90} як величини, що поступово убувають, згідно з нерівностями $\delta_{F_{200}} > \delta_{F_{90}} > \delta_{D_{90}}$.

Друге призначення сит з вічками – виконання ролі взірцевих об'єктів певних розмірів в процесі порівняння з розмірами частинок вугільного пилу. Така роль вічок обумовлена матеріалами та технологією виготовлення сит. Вони входять до набору каліброваних сит, виготовлених згідно зі стандартами (ГОСТ 3584-73; 3826-82; 6613-86) з дротяних, тканих або металевих плетених сіток з квадратними вічками розмірами (0,045–40) мм (для кусків вугілля та шлаку) та (40–1000) мкм (для вугільного пилу та летючої золи). Сита з розмірами вічок, меншими за 40 мкм, в

енерготехнології не використовуються, оскільки частинки таких розмірів погано проходять через сито, замазуючи його сітку. Розміри таких частинок визначають або традиційним методом седиментації за швидкістю осідання частинок в скаламученій воді під впливом гравітаційного поля, або мікроскопічним аналізом з використанням спеціальних скануючих систем в поєднанні з ЕОМ, що уможливають визначення кількості частинок та їх геометричні параметри.

Крім контролю крупності вугілля та тонкості помелу його пилу, ситовий аналіз в умовах ТЕС застосовується для визначення фракційного (гранулометричного) складу вугілля (ДСТУ 4082-2002), вугільного пилу та золошлакових матеріалів (ISO 2591-73). Результати таких аналізів використовуються для вибору та експлуатації паливопідготовчих засобів, дріблення та помелу вугілля, оптимізації виробництва вугільного пилу та його спалення, а також для визначення рівня золоочистки димових газів, оптимізації режимів роботи золоуловлювачів та оцінок екологічної безпеки за умов викиду у довкілля золошлакових матеріалів.

Гранулометричний склад вугілля, вугільного пилу, шлаку та летючої золи визначається за результатами просіювання відібраних проб матеріалу через набір (комплект) з 4–5 сит з розмірами вічок, що постійно убувають. Таким результатом, наприклад, просіювання проби вугільного пилу кількістю M через 4 сита з розмірами вічок 200, 125, 90, 71 мкм буде балансове рівняння по числу чи по масі частинок:

- у абсолютній формі $M = M_{F200} + M_{F125} + M_{F90} + M_{F71} + M_{D71}$
- у відносній формі $1 = F_{200} + F_{125} + F_{90} + F_{71} + D_{71}$,

де $F_{200} = \frac{M_{F200}}{M}$, $F_{125} = \frac{M_{F125}}{M}$, $F_{90} = \frac{M_{F90}}{M}$, $F_{71} = \frac{M_{F71}}{M}$ та $D_{71} = \frac{M_{D71}}{M}$ – частки

по числу чи масі частинок надситового (фракційні залишки F_{200} , F_{125} , F_{90} , F_{71}) та підситового (прохід D_{71}) вугільного пилу, відповідно.

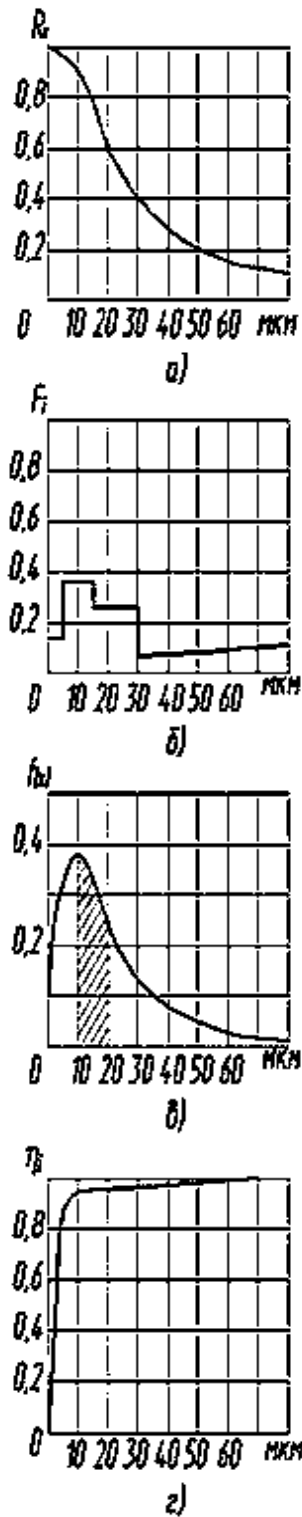
Сумарна кількість пилу на ситі даного розміру вічка і усіх інших, розташованих в наборі над ним з розмірами вічків більшими даного,

називається *повним залишком* і становить:

$$\begin{aligned} \text{для сита з вічком: } 71 \text{ мкм} - R_{71} &= F_{71} + F_{90} + F_{125} + F_{200} \\ 90 \text{ мкм} - R_{90} &= F_{90} + F_{125} + F_{200} \\ 125 \text{ мкм} - R_{125} &= F_{125} + F_{200} \\ 200 \text{ мкм} - R_{200} &= F_{200} \end{aligned}$$

Результати ситового аналізу оформляються у вигляді таблиць або графіків. На рис. 3.5 наведені характеристики фракційного складу летючої золи перед золоуловлювачем (ЗУ) у вигляді графіків, по осі абсцис яких відкладені розміри частинок золи, а по осі ординат – повні чи фракційні її залишки, або фракційні залишки золи, віднесені до величини інтервалу розмірів, чи фракційна ефективність ЗУ. Таким чином, виявлення сукупності летючої золи перед ЗУ у відношеннях еквівалентності $R(\approx)$ і порядку $R(<)$, окрім класифікації її за дихотомічною ознакою (клас крупних та клас дрібних частинок) уможливорює упорядкування частинок кожного класу еквівалентності за ознакою монотонно зростаючих чи убуючих розмірів окремих фракцій класу (фракційний склад золи). Слід зауважити, що майже усі фізичні механізми вилучення частинок летючої золи із димових газів реалізуються з різною ефективністю: більш ефективно вилучаються крупні частинки в порівнянні з дрібними. Тому в техніці пилозоочистки поряд з повними ефективностями η_{zy} та проскоками ε_{zy} , використовуються фракційні ефективності η_i та проскоки ε_i (ефективності та проскоки летючої золи i -ої фракції).

Виходячи з понять фракційного складу золи, її фракційного та повного проскоків через ЗУ, можна одержати похідні залежності, важливі для оцінок роботи ЗУ.



а) повні залишки золи, крива яких відбиває інтегральний розподіл золи, яким для визначення частки пилу, які складають частинки з розмірами більшими чи меншими за визначене значення. Він уможливує знайти частку пилу частинок з визначеними інтервалами розмірів, наприклад, від $x_1 = 10$ мкм до $x_2 = 20$ мкм. Згідно з рис. ця частка дорівнює різниці двох повних залишків. $F_{x_1/x_2} = R_{x_1} - R_{x_2} = 0,88 - 0,58 = 0,3$

б) фракційні залишки золи, ступінчаста крива яких зветься гістограмою і побудована за умови постійної частки частинок усередині певного інтервалу розмірів; є вихідними даними для розрахунку системи золоочистки димових газів ТЕС.

в) фракційні залишки золи, віднесені до величини інтервалу розмірів, крива яких зветься диференційною кривою, оскільки гранично це відношення буде відповідати похідній:

$$\frac{F_x(x + \Delta x) - F_x(x)}{\Delta x} = \frac{\Delta R_x}{\Delta x} = \frac{dR_x}{dx}$$

Тоді для інтервалу $\Delta x = 20 - 10$ мкм $f(x) \frac{F_{x_2} - F_{x_1}}{\Delta x} = \frac{0,3}{10} = 0,03$ і ймовірність попадання розмірів частинок в інтервал Δx буде $\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \approx 0,03 * 10 = 0,3$ (заштрихована площа).

г) ефективність уловлення частинок і-ої фракції золоуловлювачем (електрофільтром), крива яких називається фракційною ефективністю ЗУ (поля), являється вихідними даними для розрахунку золоочистки димових газів ТЕС.

Рис. 3.5. Характеристика фракційного складу летючої золи та ефективність електрофільтра

- а) інтегральний розподіл летючої золи;
- б) гістограма фракційного складу (фракційних залишків);
- в) диференційна крива розподілу летючої золи;
- г) крива фракційної ефективності електрофільтра.

Так, наприклад, для трипольного електрофільтра (послідовне з'єднання 3 незалежних електричних полів), схема якого показана на рис. 3.6, в умовних позначеннях схеми можна виразити:

- частку золи i -ої фракції перед кожним полем (однакової після попереднього поля та перед таким полем):

$$F_{i1} = \frac{M_{i\text{вин}}}{M_{\text{вин}}}, \quad F_{i2} = \frac{M_{i\text{н1}}}{M_{\text{н1}}}, \quad F_{i3} = \frac{M_{i\text{н2}}}{M_{\text{н2}}}, \quad (3.1)$$

де $i=1-6$ – число (номер) фракцій, перед першим полем $M_{\text{вин}}$ визначається згідно з п. 3.2;

- фракційний проскок золи для кожного поля:

$$\varepsilon_i = \frac{M_{i\text{н1}}}{M_{i\text{вин}}} = \frac{M_{i\text{н2}}}{M_{i\text{н1}}} = \frac{M_{i\text{н3}}}{M_{i\text{н2}}} \quad (3.2)$$

- повний проскок золи через кожне поле:

$$\varepsilon_1 = \frac{M_{\text{н1}}}{M_{\text{вин}}}, \quad \varepsilon_2 = \frac{M_{\text{н2}}}{M_{\text{н1}}}, \quad \varepsilon_3 = \frac{M_{\text{н3}}}{M_{\text{н2}}} \quad (3.3)$$

Скориставшись (3.1) – (3.3), одержимо:

- загальний проскок золи через j – поле ($j=1, 2, 3$ – номери полів)

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^6 F_{ij} \varepsilon_i, \quad (3.4)$$

- частка золи i -ої фракції перед таким $(j+1)$ полем (після попереднього j поля):

$$F_{i(j+1)} = F_{ij} \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_j} \quad (3.5)$$

- загальний проскок золи через електрофільтр:

$$\varepsilon_{3y} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 = \prod_{j=1}^3 \varepsilon_j \quad (3.6)$$

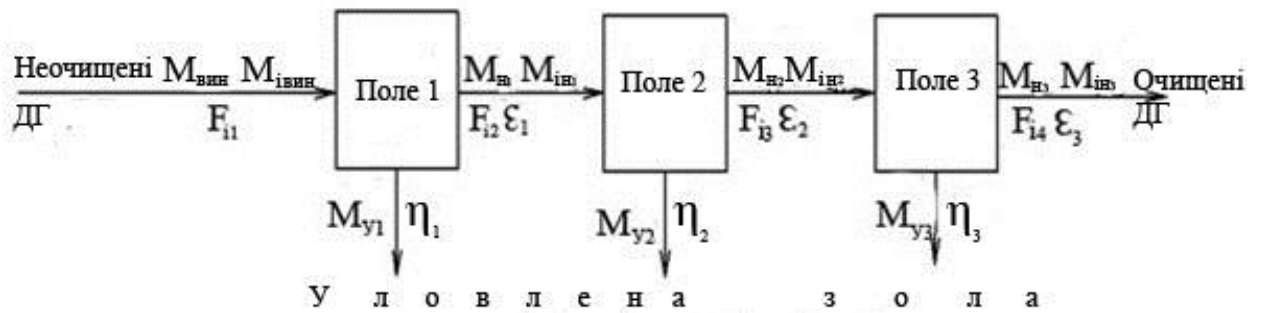


Рис. 3.6. Структурна схема трипільного електрофільтра

Приклад 3.4. Золоочистка димових газів (ДГ) на енергоблоці проводиться електрофільтром, який має в собі три незалежних електричні поля з однаковими конструктивними характеристиками та параметрами золоуловлювання. Визначити повну ефективність електрофільтра та фракційний склад летючої золи після нього. Фракційний склад летючої золи перед електрофільтром (F_i) та його фракційну ефективність (η_i) прийняти за даними рис. 3.5 б, г.

Рішення: проводиться в табличній формі табл. 3.2. Перші два рядки таблиці – рядки початкових даних: ε_i – фракційний проскок золи, рівний $\varepsilon_i = 1 - \eta_i$, де η_i – фракційна ефективність електрофільтра, значення якої для середини кожного інтервалу розмірів частинок золи вибирається з рис. 3.5 г); F_{i1} – фракційний склад золи безпосередньо визначається з рис. 3.5 б) залежно від інтервалу.

Таким чином, загальна ефективність електрофільтра знаходиться на рівні $\eta_{3y} = 0,992$; після третього поля електрофільтра основною фракцією неуловлених частинок летючої золи майже на 100 відсотків є частинки розміром 0–5 мкм, частинки за розміром 5–15 мкм складають лише 0,09%.

Умова задачі та її рішення в методичному аспекті складається з двох складових процесу пізнання властивостей частинок золи:

- метрологічна складова пізнання базуються на визначеннях властивостей частинок у різних відношеннях:

- у відношенні еквівалентності виявляються частинки золи, що обумовило їх класифікацію по класах уловлених та неуловлених частинок. Частки таких частинок відбиваються числами лише як відносні кількості відповідних класів (ε_j , ε_{3y} , η_{3y}), а не їх властивостей в цих класах;

- у відношеннях і еквівалентності, і порядку виявляються властивості уловлених та неуловлених частинок, що відбиваються числами – або безпосередньо частками розмірів (F_i), або частками класу еквівалентності частинок відповідних фракцій (ε_i , η_i) з монотонно зростаючими чи убуючими розмірами частинок;

- фізична складова пізнання механізму вилучення частинок летючої золи

із ДГ ґрунтується на законах електростатики, за якими крупні частинки золи отримують більший електричний заряд, що обумовлює більшу швидкість руху (дрейфу) таких частинок в електричному полі до осаджувальних електродів поля. Тому на рис. 3.5 з фракційна ефективність поля (електрофільтра) η_i збільшуються з ростом розміру частинок, а фракційний проскок відповідно ($\varepsilon_i=1-\eta_i$) зменшується.

Таблиця 3.2. Оцінка ефективності електрофільтра

Характеристики електрофільтра								
Позначка (формула)	Фракційні						Загальні	
	інтервал розмірів частинок золи, мкм						формула	значення
	0-5	5-15	15-30	30-40	40-60	>60		
ε_i	0,3732	0,0194	0,00014	1 E-0,6	2,7 E-0,9	5,3 E-11	-	-
F_{i1}	0,12	0,35	0,27	0,07	0,08	0,11	$\varepsilon_1 = \sum_1^6 (F_{i1}\varepsilon_i)$	-
$F_{i1} \varepsilon_i$	0,0573	0,0182	0,0004	2E-0,6	3E-0,8	2E-0,9		0,07585
$F_{i2} = F_{i1}\varepsilon_i/\varepsilon_1$	0,7555	0,2398	0,0046	3E-0,5	4E-0,7	2,9E-0,8	$\varepsilon_2 = \sum_1^6 (F_{i2}\varepsilon_i)$	-
$F_{i2}\varepsilon_i$	0,2819	0,0047	6,4E-0,7	0	0	0		0,28659
$F_{i3} = F_{i2}\varepsilon_i/\varepsilon_2$	0,9838	0,0162	2,2E-0,6	0	0	0	$\varepsilon_3 = \sum_1^6 (F_{i3}\varepsilon_i)$	-
$F_{i3}\varepsilon_i$	0,3671	0,0003	0	0	0	0		0,36742
$F_{i4} = F_{i3}\varepsilon_i/\varepsilon_3$	0,9991	0,0009	0	0	0	0	$\varepsilon_{zy} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3$ $\eta_{zy} = 1 - \varepsilon_{zy}$	-
-	-	-	-	-	-	-		0,008
-	-	-	-	-	-	-		0,992

Таким чином, для оцінки ефективності електрофільтра достатньо визначити частки класів еквівалентності летючої золи перед та після кожного поля.

Наведені приклади свідчать про те, що незважаючи на недостатню інформативність щодо знань властивостей об'єктів енерготехнології, які виявляються у відношеннях еквівалентності і порядку, вони уможливають розрахунковим способом одержати важливі режимно-технологічні, техніко-економічні та екологічні показники та параметри такої технології.