

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**І.К. Младецький, П.І. Пілов, К.А. Левченко,  
О.С. Дрешпак, О.О. Березняк, В.Ю. Медяник**

# **КВАЛІМЕТРІЯ**

**Навчальний посібник**

**Дніпро  
НТУ "ДП"  
2023**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ДНІПРОВСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА  
1899

І.К. Младецький, П.І. Пілов, К.А. Левченко, О.С. Дрешпак,  
О.О. Березняк, В.Ю. Медяник

## КВАЛІМЕТРІЯ

Навчальний посібник

Дніпро  
НТУ "ДП"  
2023

УДК 006.86:622.7(075.8)  
К32

*Затверджено Вченою радою Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка», як навчальний посібник для студентів вищих  
навчальних закладів галузі знань 18 Виробництво та технології (протокол № 7  
від 29.06.2023р.)*

Рецензенти:

Т.А. Олійник – д-р техн. наук, проф. (Криворізький національний університет, завідувач кафедри збагачення корисних копалин і хімії);

В.М. Куваєв – д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», кафедра програмного забезпечення комп'ютерних систем)

Кваліметрія: навч. посіб. / І.К. Младецький, П.І. Пілов, К.А. Левченко, О.С. Дрешпак, О.О. Березняк, В.Ю. Медяник: М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – 202 с.

ISBN\_\_\_\_\_

Розглянуто етапи технічного регулювання технологічних процесів з метою отримання заданих показників якості товарної сировини. Наведені нормативні акти, що регламентують ці показники. Наведені правила формування показників, згідно до теоретичних норм визначення фізичних величин. Методи і засоби отримання вимірювальної інформації. Сформульовано метрологічні показники вимірювання та правила реєстрації змінних параметрів. Статистична обробка експериментальних даних та правила складання технологічного балансу, як основного документа, що характеризує виробництво. Правила визначення вимог до точності контролю показників якості при збагаченні корисних копалин, періодичність випробування і точність технологічного процесу

Призначено для здобувачів магістрів та докторів філософії, що навчаються за спеціальністю 184 «Гірництво» та може бути корисним для наукових і інженерних робітників.

УДК 006. 86.622.7(075.8)

©І.К. Младецький, П.І Пілов, К.А. Левченко, О.С. Дрешпак,  
О.О. Березняк, В.Ю. Медяник, 2023  
©НТУ «Дніпровська політехніка», 2023  
ISBN\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ....	11
1.1. Основні відомості.....	11
1.2. Держспоживстандарт України.....	13
1.3. Нормативні документи зі стандартизації і види стандартів	17
1.4. Особливості застосування нормативних документів і характер їх вимог.....	19
1.5. Системи стандартів.....	25
1.6. Основні поняття технічного регулювання.....	26
1.7. Принципи технічного регулювання.....	28
2. ТЕХНІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ.....	30
2.1 Мета прийняття технічних регламентів.....	30
2.2. Зміст технічних регламентів.....	30
3. ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ (НАГЛЯД) ЗА ДОТРИМАННЯМ ТЕХНІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ.....	34
3.1. Органи і об'єкти державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів.....	34
3.2 Повноваження і відповідальність органів державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів.....	34
3.3. Права органів державного контролю (нагляду) при отриманні інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів.....	36
3.4. Інформації про технічні регламенти та документи із стандартизації.....	37
4. МЕТРОЛОГІЯ.....	40
4.1. Основні поняття в галузі вимірювання.....	40
4.2. Організаційні основи метрологічного забезпечення.....	44
4.3. Метрологічні служби органів управління, на підприємствах і в організаціях.....	47
4.4. Державне регулювання у сфері забезпечення єдності вимірювань.....	50
4.5. Міжнародні метрологічні організації.....	53
5. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ОДИНИЦІ.....	57
5.1. Види фізичних величин і одиниць.....	57
5.2. Система одиниць фізичних величин.....	58
5.3. Відносні і логарифмічні величини і одиниці.....	63

5.4. Міжнародна система одиниць фізичних величин.....	64
5.5. Визначення змісту одиниць системи СІ.....	66
5.6. Еталонна база України.....	72
6. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОТРИМАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	74
6.1. Загальні положення.....	74
6.2. Метод вимірювання, класифікація методів вимірювання...	76
6.3. Основні структурні схеми електричних вимірювальних приладів.....	78
6.3.1. Структурні схеми електричних приладів для вимірювання електричних величин.....	78
6.3.2. Структурні схеми електричних приладів для вимірювання неелектричних величин.....	81
6.4. Місткові схеми.....	81
6.5. Оцінка точності вимірювальних приладів методом безпосередньої оцінки.....	84
6.6. Оцінка точності вимірювальних приладів, що працюють за методом порівняння.....	86
6.7. Засоби вимірювання та їх класифікація.....	87
6.8. Державна система забезпечення єдності вимірювання.....	93
7. МЕТРОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИМІРЮВАННЯ.....	96
7.1. Основні терміни та визначення.....	96
7.2. Дослідження у лабораторних умовах.....	99
7.3. Вимір маси.....	101
8. РЕЄСТРАЦІЯ ЗМІННИХ ПАРАМЕТРІВ.....	104
9. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.....	108
9.1. Основні поняття і визначення математичної статистики...	108
9.2. Причини виникнення і методи зменшення систематичних похибок.....	118
10. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ БАЛАНС, ЯК ОСНОВНИЙ ДОКУМЕНТ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЄ ВИРОБНИЦТВО.....	121
10.1. Визначення виходу концентрату за середніми даними.....	122
10.2. Обчислення виходу концентрату за миттєвими значеннями аргументів.....	123
10.3. Обчислення виходу концентрату з урахуванням часу еквівалентного запізнення.....	124
10.4. Обробка даних випробування з урахуванням кореляційних зв'язків.....	125

10.5. Виходи багатовимірного розділення.....	131
11. ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ КОРИСНИХ КОПАЛИН.....	134
12. ПЕРІОДИЧНІСТЬ ВИПРОБУВАННЯ.....	140
13. ТОЧНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	146
13.1. Моделювання динамічного перетворення вхідних показників в дисперсії показників збагачення.....	146
13.2. Передавальна функція об'єкту та з'єднань апаратів.....	146
13.3. Отримання частотної характеристики.....	154
13.4. Визначення дисперсій якісних показників збагачених продуктів.....	154
13.5. Розробка критерію, що оцінює достатність точності вимірювання показників технологічного процесу.....	154
14. КОНТРОЛЬ ВИТРАТИ ТВЕРДОГО В ПУЛЬПІ.....	158
14.1 Класичний спосіб контролю витрат твердого.....	160
14.2. Вимір витрат твердої сухої маси на конвеєрі.....	161
14.3. Витрати бінарних потоків.....	163
14.4. Вимір об'ємних витрати пульпи і вмісту твердої фази в них.....	169
14.5. Контроль витрат твердого в замкнутому циклі подрібнення.....	175
14.6. Контроль масової витрати пульпи.....	176
14.7. Витрата рідини сталої щільності.....	176
14.8. Вимір мас у ємностях і витрати сипких продуктів.....	179
14.9. Принципи випробування технології переробки сировини	180
15. ТОВАРНИЙ БАЛАНС.....	192
15.1. Отримання інформації для обчислення неув'язки.....	195
ДОДАТОК А Початкові дані .....	199
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	200

## ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

В тексті навчального посібника використані наступні позначення та скорочення:

**ISO** – Міжнародна організація зі стандартизації (англ. International Organization for Standardization, ISO) це міжнародна організація, метою діяльності якої є ратифікація розроблених спільними зусиллями делегатів від різних країн стандартів.

**IEC** – Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) (англ. International Electrotechnical Commission, IEC) це міжнародна організація зі стандартизації у сфері електричних, електронних і суміжних технологій. Деякі із стандартів МЕК розробляються спільно з Міжнародною організацією із стандартизації (ISO).

**ДСТУ** – Державний стандарт України це стандарт, розроблений відповідно до чинного законодавства України, що встановлюють для загального і багаторазового застосування правил, загальних принципів або характеристик, які стосуються діяльності чи її результатів, з метою досягнення оптимального ступеня впорядкованості, розроблений на основі консенсусу та затверджений уповноваженим органом. Стандарти ДСТУ існують з 1993 року.

**COT** – Світова організація торгівлі (COT) це міжнародна організація, метою якої є розробка системи правових норм міжнародної торгівлі та контроль за їх дотриманням. Її головна функція – забезпечувати, щоб торгівля відбувалася настільки прозоро, легко, передбачувано і вільно, наскільки це можливо.

**ЗВТ** – Засіб вимірювальної техніки.

**НМС** – Національна метрологічна служба

**СЗ** – Стандартний зразок.

**ЦАП** – Цифро-аналоговий перетворювач.

**АЦП** – Аналого-цифровий перетворювач.

**ЕРС** – Електрорушійна сила.

## ВСТУП

Метрологія, стандартизація, сертифікація та технічне регулювання в даний час набувають все більшого значення у всіх галузях науки, техніки, промисловості та економіки, особливо в умовах взаємної інтеграції ряду виробництв на регіональному та міжнародному рівнях. Вирішення завдань загального управління якістю виявляється першорядним для найсучасніших галузей науки і техніки: інформаційних систем, комп'ютерних мереж, систем та комплексів, програмного забезпечення цих систем.

Контроль та вимірювання – невід'ємна частина технологічних процесів, що забезпечують якість продукції, тому необхідно чітко подавати причини появи похибок технологічного процесу та вимірювання, знати методи та засоби вимірювання і їх метрологічні характеристики, а також вміти оцінити і подати результати вимірювання.

Управління якістю неможливо уявити без контролю якості, що ґрунтується на обліку численних результатів вимірювання параметрів технологічного процесу та самої продукції. Вимірювання, методи та засоби забезпечення їхньої єдності, а також способи досягнення необхідної точності вимірювання вивчає наука метрологія. Принципи метрології реалізуються в діяльності щодо забезпечення необхідної якості вимірювань, насамперед їх єдності, достовірності та точності.

Кваліметрія є область наукових знань про методи кількісної оцінки якості об'єктів, що характеризуються безліччю показників. Найчастіше об'єктом такої оцінки є продукція підприємств – товари та послуги. Кваліметрія виникла з необхідності оцінки складних видів виробів у кількісному вигляді, що дозволяє об'єктивно ранжувати їх за рівнем якості.

Оскільки якість будь-якої продукції значною мірою визначається технологією виробництва, необхідно також вміти об'єктивно оцінювати рівень роботи її виробників, їх можливості забезпечення випуску продукції необхідної якості. У гірничій промисловості важливим об'єктом кваліметричної оцінки поряд із продукцією та технологією є земні надра, тому що від об'єктивної оцінки запасів корисних копалин багато в чому залежать якість видобутих корисних копалин та загалом ефективна експлуатація родовищ.

Термін кваліметрія походить від латинського слова *qualis* (дослівно: якийсь за якістю) та грецького *metroo* (вимірюю). Кваліметрія тісно пов'язані з метрологією (від грецьких *metron* - міра і *logos* - вчення), тобто. - наукою про вимірювання та методи їх здійснення. Кваліметрична оцінка продукції виконується з урахуванням даних метрологічних вимірів. Основним завданням кваліметрії є неупереджена кваліфікаційна оцінка будь-якого виду продукції шляхом визначення абсолютного чи відносного рівня її якості.

Проблема об'єктивної оцінки якості товару, необхідності його градації виникає щоразу у взаєминах споживача та товаровиробника (або продавця). Дуже гостро вона проявляється за умов конкуренції. Тому створення методів кількісної оцінки якості продукції, що часто відрізняється великою кількістю та різноманітністю споживчих властивостей, дуже важливо, що визначає необхідність вироблення та обґрунтування найбільш загальних та об'єктивних критеріїв та показників оцінки.

Фактично, кваліметрія разом із метрологією, теорією надійності та інші галузями знань, що з управління процесами, становить теоретичну базу інженерних методів контролю та управління якістю продукції.

Базовим у кваліметрії є поняття якості продукції. Відповідно до ДСТУ ISO 9000:2015 якість продукції є сукупністю властивостей продукції, що зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення. У цьому під терміном продукція розуміється продукт виробництва, призначений до застосування у сфері іншого виробництва, експлуатації чи споживання.

Параметрами продукції називаються кількісні ознаки, що характеризують основні її властивості та стани.

Кількісна характеристика одного або декількох властивостей продукції, що становлять її якість, що розглядається стосовно певних умов її створення, експлуатації або споживання, називається показником якості продукції. Розрізняють одиничний, диференційований і комплексний показники якості продукції.

Оцінка рівня якості продукції є ряд взаємопов'язаних: операцій, що включають вибір номенклатури показників якості, визначення їх кількісних значень та зіставлення з базовими. При цьому під

базовими значеннями показника якості продукції розуміються такі його значення, які прийняті за основу при порівняльній оцінці.

Відповідно до ДСТУ ISO 9000:2015 поняттям управління якістю продукції визначаються дії, що здійснюються при створенні, експлуатації або споживанні продукції з метою встановлення, забезпечення та підтримки необхідного рівня її якості.

Стандартизація – це встановлення та застосування правил з метою управління діяльністю у певній галузі на користь і за участю всіх зацікавлених сторін, зокрема для досягнення загальної оптимальної економії, при дотриманні умов експлуатації (використання) та вимог безпеки.

Об'єктом кваліметрії може бути, як найпростіша у виробництві та споживанні, так і найбільш складна продукція. Зрозуміло, що різні продукти машинобудування, будівництва, металургії, сільського господарства, гірничодобувної та інших галузей промисловості принципово різняться за функціональним призначенням і показниками, що характеризують їх якість. Тому немає і не може бути єдиної методології їх оцінки. Однак для всіх цих та інших видів продукції можна знайти загальні принципи, на базі яких необхідно розробляти конкретні методи оцінки якості всіх об'єктів кваліметрії. Основні з цих принципів такі:

1. Кваліметрія повинна створювати такі методи, які забезпечували б найбільш об'єктивну та неупереджену оцінку якості продукції на користь суспільства.

2. При виборі визначальних показників оцінки якості продукції пріоритет надається вимогам споживача.

3. Для кваліметричної оцінки якості продукції необхідні еталони, які можуть мати форму фізичного зразка або стандарту (від англійського standard - зразок), що є зведенням об'єктивних вимог до продукції.

4. При комплексній оцінці якості продукції необхідно всі різнорозмірні визначальні показники трансформувати в шкалу однієї розмірності.

5. Показник кожного визначального якості продукції властивості повинен оцінюватися двома числовими параметрами: рівнем якості за одиничним показником та його вагомістю (значущістю).

6. Сумарне значення вагомості показників властивостей одного ієрархічного рівня – величина постійна.

7. Якість продукції визначається якістю складових її елементів.

8. При комплексній кількісній оцінці якості не допустимо використання залежних дублюючих показників однієї властивості продукції.

В результаті вивчення дисципліни здобувачі зможуть опанувати наступні вміння: планувати етапи технічного регулювання технологічних процесів з метою отримання заданих показників якості товарної сировини; користуватися нормативними актами, що регламентують ці показники, а також правилами формування показників, згідно до теоретичних норм визначення фізичних величин; використовувати методи і засоби отримання вимірювальної інформації, щодо метрологічних показників вимірювання та правила реєстрації змінних параметрів; виконувати статистичну обробку експериментальних даних та складати технологічний баланс, що характеризує виробництво; визначати вимоги до точності контролю показників якості при збагаченні корисних копалин, періодичність випробування і точність технологічного процесу.

# 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

*Мета розділу: ознайомлення з основними законодавчими документами, що регламентують проведення дій, стосовно вимірів фізичних величин.*

## 1.1. Основні відомості

Жодне суспільство не може існувати без технічного законодавства і нормативних документів, що регламентують правила, процеси, методи виготовлення і контролю продукції, а також гарантують безпеку життя, здоров'я і майна людей та навколишнього середовища.

Стандартизація – один з діючих засобів прискорення технічного прогресу, впровадження самої раціональної організації виробництва, поліпшення якості продукції, економії трудових витрат і матеріальних ресурсів. Метою стандартизації в Україні є забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, тварин, рослин, а також майна і охорони навколишнього середовища, створення умов для раціонального використання усіх видів національних ресурсів та відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню, сприяння усуненню технічних бар'єрів у торгівлі.

З отриманням Україною незалежності в 1991 році Постановою Кабінету Міністрів України №293 від 23.09.91 р. була створена державна система стандартизації на базі Українського республіканського управління Держстандарту СРСР.

У травні 1993 р. вийшов Декрет Кабінету Міністрів України "Про стандартизацію і сертифікацію". У червні Держстандарт України затвердив і ввів у дію перші 5 державних основоположних стандартів, що заклали фундамент державної системи стандартизації України:

1. ДСТУ 1.0-93 Державна система стандартизація України. Основні положення.

2. ДСТУ 1.2-93 Державна система стандартизації України. Порядок розробки державних стандартів.

3. ДСТУ 1.3-93 Державна система стандартизації України. Порядок розробки, побудови, викладання та оформлення технічних умов.

4. ДСТУ 1.4-93 Державна система стандартизації України. Стандарти підприємства. Основні положення.

5. ДСТУ 1.5-93 Державна система стандартизації України. Загальні вимоги до побудови, викладання, оформлення та змісту стандартів.

У 1998 році Держстандартом України була розроблена "Концепція розвитку національних систем стандартизації, сертифікації і акредитації", яка узагальнює досягнення багаторічного досвіду стандартизації і визначає завдання із актуалізації цілей і методів стандартизації, вибору пріоритетних напрямків стандартизації і міжнародного співробітництва, гармонізації основної термінології з основними документами ISO, ІЕС, СОТ та ін. При цьому підкреслюється необхідність практичної реалізації прийнятих у міжнародній практиці економічної, соціальної і комунікативної функцій стандартизації, що є однією з умов приєднання України до СОТ.

На разі діє закон "Про стандартизацію", який підписаний президентом України 5 червня 2014 р. зі змінами, внесеними згідно із законами: № 124-VIII від 15.01.2015, ВВР, 2015, № 14, ст.96; № 2581-VIII від 02.10.2018, ВВР, 2018, № 46, ст.371; № 2742-VIII від 06.06.2019, ВВР, 2019, № 29, ст.117; № 114-IX від 19.09.2019, ВВР, 2019, № 45, ст.289; № 199-IX від 17.10.2019, ВВР, 2019, № 51, ст.377; № 720-IX від 17.06.2020, ВВР, 2020, № 47, ст.408; № 850-IX від 02.09.2020, ВВР, 2021, № 14, ст.119; № 1089-IX від 16.12.2020; № 2026-IX від 27.01.2022 та № 2254-IX від 12.05.2022. Цей Закон установлює правові та організаційні засади стандартизації в Україні і спрямований на забезпечення формування та реалізації державної політики у відповідній сфері. Закон "Про стандартизацію" включає 6 розділів:

1. Загальні положення.
2. Організація стандартизації.
3. Основні засади, процедури розроблення і прийняття та застосування національних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них.

4. Інформаційне забезпечення і право власності на національні стандарти, кодекси усталеної практики та каталоги і використання коштів, одержаних від їх реалізації.

5. Міжнародне співробітництво та фінансування робіт із стандартизації.

## 6. Прикінцеві та перехідні положення.

Закон "Про стандартизацію" регулює відносини, які пов'язані з діяльністю в сфері стандартизації і застосування її результатів та поширюється на суб'єкти господарювання незалежно від форми власності і видів діяльності, органи державної влади, а також на відповідні громадські організації.

### 1.2. Держспоживстандарт України

У 2003 р. внесено зміни в основоположні стандарти, і Держспоживстандарт України затвердив їх у новій редакції. У відповідності з визначенням ISO та Законом України "Про стандартизацію" стандартизація, що проводиться на рівні однієї країни є національною. Тому нова редакція комплексу стандартів має назву "Національна стандартизація" (на жаль ряд стандартів, що входило до цього комплексу сьогодні не мають право чинності та оновлюються):

ДСТУ 1.0:2003 Національна стандартизація. Основні положення. (Не чинний);

ДСТУ 1.1:2015 (ISO/IEC Guide 2:2004, MOD) Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Словник термінів (Чинний);

ДСТУ 1.2:2015 Національна стандартизація. Правила проведення робіт з національної стандартизації. (Чинний);

ДСТУ 1.3:2004 Національна стандартизація. Правила розробки, побудови, викладання, узгодження, прийняття та позначення технічних умов. (Не чинний);

ДСТУ 1.5:2015 Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів. (Чинний);

ДСТУ 1.6:2004 Національна стандартизація. Правила розробки нормативних документів.

ДСТУ 1.7:2015 (ISO/IEC Guide 21-1:2005, ISO/IEC Guide 21-2:2005) Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів. (Чинний);

ДСТУ 1.8:2015 Національна стандартизація. Правила розроблення Програми робіт з національної стандартизації. (Чинний до 2023 р.);

ДСТУ 1.8:2022 Національна стандартизація. Правила розроблення Програми робіт з національної стандартизації. (Набуде чинності в 2023 р.);

ДСТУ 1.13:2015 Національна стандартизація. Правила надавання повідомлень торговим партнерам України. (Чинний);

ДСТУ 1.14:2015 Національна стандартизація. Процедури створення, діяльності та припинення діяльності технічних комітетів стандартизації. (Чинний).

З 10.02.2016 р. чинний Закон України "Про технічні регламенти та оцінку відповідності". В ньому визначені правові та організаційні засади розроблення, прийняття та застосування технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінки відповідності, а також здійснення добровільної оцінки відповідності.

**Стандартизація** – це діяльність, що полягає у встановленні положень для загального і багаторазового застосування щодо наявних і можливих задач з метою досягнення оптимального рівня упорядкованості у визначеній сфері, результатом якої є підвищення рівня відповідності продукції, процесів і послуг їхньому функціональному призначенню, усунення технічних бар'єрів у торгівлі і сприяння науково-технічному співробітництву. Об'єктами стандартизації є: матеріали, складники, обладнання, системи, їх сумісність; правила, процедури, функції, методи, діяльність чи її результати, включаючи продукцію, персонал, системи управління; вимоги до термінології, позначення, фасування, пакування, маркування, етикетування тощо.

*Метою* стандартизації в Україні є:

- 1) забезпечення відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню;
- 2) керування різноманітністю, застосовність, сумісність, взаємозамінність об'єктів стандартизації;
- 3) забезпечення раціонального виробництва шляхом застосування визнаних правил, настанов і процедур;
- 4) забезпечення охорони життя та здоров'я;
- 5) забезпечення прав та інтересів споживачів;
- 6) забезпечення безпечності праці;
- 7) збереження навколишнього природного середовища і економія всіх видів ресурсів;

8) усунення технічних бар'єрів у торгівлі та запобігання їх виникненню, підтримка розвитку і міжнародної конкурентоспроможності продукції.

*Державна політика в області стандартизації* базується на таких принципах:

1) забезпечення участі фізичних і юридичних осіб у розробленні національних стандартів та кодексів усталеної практики;

2) відкритості та прозорості процедур розроблення і прийняття національних стандартів та кодексів усталеної практики з урахуванням інтересів усіх заінтересованих сторін;

3) неупередженого прийняття національних стандартів та кодексів усталеної практики на засадах консенсусу;

4) добровільного застосування національних стандартів та кодексів усталеної практики, якщо інше не передбачено нормативно-правовими актами;

5) відповідності національних стандартів та кодексів усталеної практики законодавству;

6) адаптації до сучасних досягнень науки і техніки, сприяння впровадженню інновацій та підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних виробників;

7) доступності національних стандартів та кодексів усталеної практики, а також інформації про них для користувачів;

8) пріоритетності прийняття в Україні міжнародних і регіональних стандартів та кодексів усталеної практики як національних;

9) дотриманні міжнародних та регіональних правил і процедур стандартизації;

10) участі в міжнародній та регіональній стандартизації;

11) прийняття і дотримання суб'єктами стандартизації Кодексу добросовісної практики з розробки, прийняття та застосування стандартів відповідно до Угоди Світової організації торгівлі про технічні бар'єри у торгівлі, що є додатком до Марракеської Угоди про заснування Світової організації торгівлі від 15 квітня 1994 року.

*Цілі стандартизації* можна підрозділити на загальні і більш вузькі, що стосуються забезпечення відповідності.

*Загальні цілі* впливають насамперед із змісту поняття. Конкретизація загальних цілей для української стандартизації пов'язана з виконанням тих вимог стандартів, що є обов'язковими. До них відносяться розробка норм, вимог, правил, що забезпечують:

- безпеку продукції, робіт, забезпечення безпеки життя і здоров'я людей, навколишнього середовища і майна;
- сумісність і взаємозамінність виробів;
- якість продукції, робіт і послуг відповідно до рівня розвитку науково-технічного прогресу;
- єдність вимірювання;
- економію усіх видів ресурсів;
- безпеку господарських об'єктів, яка пов'язана з можливістю виникнення різних катастроф (природного і техногенного характеру) і надзвичайних ситуацій;
- обороноздатність і мобілізаційну готовність країни.

*Конкретні цілі* стандартизації відносяться до визначеної області діяльності, галузі виробництва товарів і послуг того, або іншого виду продукції, підприємства і т.п. Областю стандартизації називають сукупність взаємозалежних об'єктів стандартизації. Наприклад, машинобудування є областю стандартизації, а об'єктами стандартизації в машинобудуванні можуть бути технологічні процеси, типи двигунів, безпека і екологічність машин і т.п. Стандартизація здійснюється на різних рівнях. Рівень стандартизації розрізняється в залежності від того, учасники якого географічного, економічного, політичного регіону світу приймають стандарт. Так, якщо участь у стандартизації відкрито для відповідних органів будь-якої країни, то це є *міжнародна* стандартизація.

*Національна* стандартизація – стандартизація в одній конкретній державі. При цьому національна стандартизація також може здійснюватися на різних рівнях: на державному, галузевому рівні, у тому або іншому секторі економіки (наприклад, на рівні міністерств), на рівні асоціацій, виробничих фірм, підприємств (фабрик, заводів) і установ.

*Регіональна* стандартизація – стандартизація, участь у якій відкрита для відповідних органів держав лише одного географічного, політичного або економічного простору.

Стандартизацію, що проводиться в адміністративно-територіальній одиниці держави, прийнято називати адміністративно-територіальною стандартизацією. У середині держави чи адміністративно-територіальної одиниці держави стандартизацію можуть також здійснювати на рівні галузі чи сектору економіки (на рівні міністерств), на місцевому рівні, на рівні асоціацій та

підприємств і в промисловості й на окремих фабриках, заводах або установах.

Орган стандартизації – орган, що займається стандартизацією, визнаний на національному, регіональному і міжнародному рівні, основними функціями якого є: розробка, узгодження і затвердження стандартів.

### **1.3. Нормативні документи зі стандартизації і види стандартів**

У процесі стандартизації виробляються норми, правила, вимоги, характеристики, що стосуються об'єкта стандартизації, які оформляються у вигляді нормативного документа.

Закон "Про стандартизацію" дає наступні визначення нормативного документа.

"Нормативний документ – це документ, що встановлює правила, загальні принципи або характеристики різних видів діяльності або їхніх результатів". Даний термін охоплює такі поняття як "стандарт", "кодекс ustalеної практики", технічні умови.

Стандарт – документ, що встановлює для загального і багаторазового застосування правила, загальні принципи або характеристики, що стосується діяльності або їхніх результатів, з метою досягнення оптимального рівня упорядкованості у визначеній сфері, розроблений у встановленому порядку на основі консенсусу.

Консенсус – загальна угода, що характеризується відсутністю серйозних заперечень щодо істотних питань у більшості зацікавлених сторін і досягається в процесі процедури, спрямованої на врахування думок усіх сторін і зближення різних точок зору.

Міжнародний і регіональний стандарти – стандарти, прийняті відповідно міжнародним і регіональним органом стандартизації.

Національні стандарти – державні стандарти України, прийняті центральним органом виконавчої влади в області стандартизації і доступні для широкого кола користувачів.

Кодекс ustalеної практики (звід правил) – документ, що включає практичні правила або процедури проектування, виготовлення, монтажу, технічного обслуговування, експлуатації обладнання, конструкцій і виробів.

Кодекс ustalеної практики може бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

Технічні умови – документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинні відповідати продукція, процеси або послуги. Технічні умови можуть бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

Технічний регламент – нормативно-правовий акт, прийнятий органом державної влади, що встановлює технічні вимоги до продукції, процесам або послугам безпосередньо, або через посилання на стандарти, або відбиває їхній зміст.

Правила позначення нормативних документів визначені ДСТУ 1.0:2003. «Національна стандартизація. Основні положення».

Позначення стандарту складається з індексу, номеру і року прийняття. Установлюються наступні індекси:

- національний стандарт України – ДСТУ;
- державний класифікатор – ДК;
- стандарт наукового, науково-технічного або інженерного товариства чи спілки України – СТУ;
- стандарт організації – СОУ;
- технічні умови, що не є стандарт – ТУУ.

Правила присвоєння номерів і позначення року для національних нормативних документів відповідно до ДСТУ 1.5, технічних умов – ДСТУ 1.3. Міжнародний або регіональний стандарт позначають відповідно до ДСТУ 1.7.

Якщо в позначенні документа в сфері стандартизації, що діє в Україні, використовується позначення документа міжнародної або регіональної організації (ISO, ІЕС, EN, ГОСТ, та ін.), а також якщо назва відповідного документа переведена, то таке позначення не змінюють.

Національні стандарти України позначаються так:

ДСТУ 4161-2003. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги.

Якщо стандарт нормалізований зі стандартом ISO він позначається так:

ДСТУ ISO 9001-2001. Система управління якістю. Вимоги.

Позначення державного стандарту України, прийнятого Міжнародною радою як ГОСТ, доповнюється позначенням ГОСТ, (пишеться також у дужках під позначенням ДСТУ).

ДСТУ 2326-93 (ГОСТ 20548-93) Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови.

## 1.4. Особливості застосування нормативних документів і характер їх вимог

**Національні стандарти України розробляються на:**

- організаційно-методичні і загальнотехнічні об'єкти, а саме: організацію і проведення робіт зі стандартизації, науково-технічну термінологію, класифікацію і кодування техніко-економічної і соціальної інформації, технічну документацію, інформаційні технології, організацію робіт з метрології;
- вироби загальномашинобудівного використання;
- банківсько-фінансову систему, транспорт, зв'язок, енергосистему, охорону навколишнього середовища, оборону держави;
- продукцію міжгалузевого призначення;
- продукцію для населення і народного господарства;
- методи випробувань.

Національні стандарти містять обов'язкові і рекомендаційні вимоги.

До обов'язкових вимог відносяться:

- вимоги, що стосуються безпеки продукції для життя, здоров'я і майна громадян, охорони навколишнього середовища, і вимоги до методів випробування цих показників;
- вимоги техніки безпеки й охорони праці з посиланням на відповідні норми і правила;
- метрологічні норми, правила, вимоги і положення, що забезпечують вірогідність і єдність вимірювань;
- положення, що забезпечують технічну єдність при розробці, виготовленні, експлуатації або використанні продукції.

Обов'язкові вимоги національних стандартів підлягають безумовному виконанню на всій території України.

Рекомендаційні вимоги національних стандартів України підлягають безумовному виконанню, якщо:

- це передбачено чинними актами законодавства;
- ці вимоги внесені у договори на розробку, виготовлення і постачання продукції;
- виробником (постачальником) продукції документально заявлено на відповідність продукції цим стандартам.

Як національні стандарти України використовуються державні стандарти колишнього Радянського Союзу (міждержавні стандарти –

ГОСТ), у відповідність з рішенням Міждержавної Ради зі стандартизації, метрології і сертифікації в 1992 р., до якої входять країни СНД.

**Галузеві стандарти** розробляються на продукцію при відсутності національних (державних) стандартів України або в разі потреби установлення вимог, що перевищують або доповнюють вимоги національних стандартів.

Галузеві стандарти розробляються стосовно до продукції певної галузі. Їхні вимоги не повинні суперечити обов'язковим вимогам державних стандартів, а також правилам і нормам безпеки, установленим для галузі. Приймають такі стандарти державні органи управління (наприклад, міністерства), що несуть відповідальність за відповідність вимог галузевих стандартів обов'язковим вимогам ДСТУ.

Об'єктами галузевої стандартизації можуть бути: продукція, процеси і послуги, які використовуються в галузі; правила, що стосуються організації робіт з галузевої стандартизації; типові конструкції виробів галузевого застосування (інструменти, кріпильні деталі і т.п.); правила метрологічного забезпечення в галузі. Діапазон застосування галузевих стандартів обмежується підприємствами, підвідомчими державному органу управління, що прийняли даний стандарт. На добровільній основі можливе використання цих стандартів суб'єктами господарської діяльності іншого підпорядкування.

Ступінь обов'язковості дотримання вимог стандарту галузі визначається тим підприємством, що застосовує його, або за договором між виробником і споживачем. Контроль за виконанням обов'язкових вимог організує відомство, що прийняло даний стандарт.

**Стандарти організації** розробляються і приймаються самим підприємством. Об'єктами стандартизації в цьому випадку звичайно є складові організації й управління виробництвом, удосконалення яких – головна мета стандартизації на даному рівні. Крім того, стандартизація на підприємстві може торкатися і продукції, що виготовляється цим підприємством. Тоді об'єктами стандарту підприємства будуть складові частини продукції, технологічне оснащення та інструменти, загальні технологічні норми процесу виробництва цієї продукції. Стандарти підприємств можуть містити вимоги до різного роду послуг внутрішнього характеру.

Стандартизація на підприємстві сприяє освоєнню даним конкретним підприємством державних, міжнародних, регіональних стандартів, а також для регламентування вимог до сировини, напівфабрикатів і т.п., що можна придбати в інших організаціях. Ця категорія стандартів обов'язкова для підприємства, яке прийняло цей стандарт. Але якщо в договорі на розробку, виробництво, постачання продукту або надання послуг мається посилання на стандарт підприємства, він стає обов'язковим для всіх суб'єктів господарської діяльності – учасників такого договору.

**Стандарти громадських об'єднань** (наукових, науково-технічних, інженерних товариств і ін.). Ці нормативні документи розробляють, як правило, на принципово нові види продукції, процесів або послуг; передові методи випробувань, а також нетрадиційні технології і принципи управління виробництвом. Громадські об'єднання, що займаються цими проблемами, мають на меті поширення через свої стандарти перспективних результатів і світових науково-технічних досягнень, фундаментальних і прикладних досліджень, що заслуговують уваги. Для суб'єктів господарської діяльності стандарти громадських об'єднань служать важливим джерелом інформації про передові досягнення і, за рішенням самого підприємства, вони приймаються на добровільній основі для використання окремих положень при розробці стандартів підприємства. Як стандарти підприємств, так і стандарти громадських об'єднань не повинні суперечити українському законодавству, а якщо їхній зміст стосується аспекту безпеки, то проекти цих стандартів повинні бути погоджені з органами державного нагляду. Відповідальність за це несуть суб'єкти господарської діяльності, що їх прийняли. Відповідно специфіки об'єкта стандартизації, склад і зміст вимог до них, ISO/IEC, пропонується розрізняти такі види стандартів:

- основоположні;
- на продукцію і послуги;
- на процеси;
- на методи контролю (випробування, вимірювання, аналізу);
- на терміни і визначення.

Основоположний стандарт – нормативний документ, що містить загальні або керівні положення для визначеної області. Звичайно

використовується або як стандарт, або як методичний документ, на основі якого можуть розроблятися інші стандарти.

Термінологічний стандарт (об'єктом стандартизації є терміни) – містить визначення (тлумачення) терміна, приклади його застосування і т.п.

Стандарт на методи випробування установлює методики, правила, процедури різних випробувань і сполучених з ними дій (наприклад, відбір проби або зразка).

Стандарт на продукцію містить вимоги до продукції, що забезпечують відповідність продукції її призначенню. Цей стандарт може бути повним або неповним. Повний стандарт установлює не тільки вищевказані вимоги, але також і правила відбору проб, проведення випробувань, упакування, етикетування, зберігання і т.д. Неповний стандарт містить частину вимог до продукції (тільки до параметрів якості, тільки до правил постачання та ін.).

Стандарт на процес, стандарт на послугу – це нормативний документ, у якому об'єктом стандартизації виступають відповідно процес (наприклад, технологія виробництва), послуга (наприклад, автосервіс, транспорт, банківське обслуговування та ін.)

Основоположні стандарти розробляють з метою сприяння взаєморозумінню, технічної єдності і взаємозв'язку діяльності в різних областях науки, техніки і виробництва. Цей вид нормативних документів установлює такі організаційні принципи і положення, вимоги, правила і норми, що розглядаються як загальні для цих сфер і повинні сприяти досягненню цілей, загальних як для науки, так і для виробництва. У цілому вони забезпечують їхню взаємодію при розробці, створенні та експлуатації продукту (послуги) таким чином, щоб виконувалися вимоги із охорони навколишнього середовища, безпеки продукту або процесу для життя, здоров'я і майна людини; ресурсозбереженню та іншим загальнотехнічним нормам, що передбачені державними стандартами на продукцію. Прикладом основоположних стандартів можуть бути ДСТУ 1.0:2003, ДСТУ 1.2:2003, ДСТУ 1.3:2003, ДСТУ 1.4:2003, ДСТУ 1.5:2003 – нормативні документи з організації Національної стандартизації в Україні. Цей приклад говорить також про те, що нормативним документом може бути комплекс стандартів, що поєднує взаємозалежні стандарти, або вони мають загальну цільову спрямованість, установлюють погоджені вимоги до взаємозалежних об'єктів стандартизації. Так, комплекс основоположних стандартів,

власне кажучи, буде об'єднанням взаємозалежних нормативних документів, що носять методичний характер, містить положення, які спрямовані на те, щоб стандарти, що використовуються на різних рівнях управління, не суперечили один одному і законодавству, забезпечували досягнення загальної мети і виконання обов'язкових вимог до продукції, процесів, послуг.

Стандарти на продукцію (послуги) встановлюють вимоги до конкретного виду продукції (послуги), або до угруповань однорідної продукції (послуги). У вітчизняній практиці є два різновиди цього виду нормативних документів:

- стандарти загальних технічних умов, що містять загальні вимоги до угруповань однорідної продукції, послуг;
- стандарти технічних умов, що містять вимоги до конкретної продукції (послуги).

Допускається також розробка стандартів на окремі вимоги до угруповань однорідної продукції (послуги). Наприклад, на класифікацію, методи випробувань, правила зберігання і/або транспортування і т.п.

Найчастіше окремим об'єктом стандартизації є параметри і норми безпеки та охорони навколишнього середовища.

Стандарт загальних технічних умов звичайно включає наступні розділи: класифікацію, основні параметри (розміри), загальні вимоги до параметрів якості, упакування, маркування; вимоги безпеки; вимоги охорони навколишнього середовища; правила приймання продукції; методи контролю, транспортування і зберігання; правила експлуатації, ремонту та утилізації.

Наявність у змісті стандарту тих або інших розділів залежить від особливостей об'єкта стандартизації і характеру вимог до нього.

Стандарт технічних умов установлює усебічні вимоги до конкретної продукції (у тому числі різних марок або моделей цієї продукції), що стосуються виробництва, споживання, постачання, експлуатації, ремонту, утилізації. Сутність цих вимог не повинна суперечити стандартам загальних технічних умов. Але стандарт технічних умов містить конкретизовані додаткові вимоги, що відносяться до об'єкта стандартизації (вказівка про товарний знак, якщо він зареєстрований у встановленому порядку; знаки відповідності, якщо вироби сертифіковані; особливі вимоги, що стосуються безпеки й охорони навколишнього середовища). Стандарти технічних умов на послугу можуть містити вимоги до

асортименту наданих послуг (точність і своєчасність виконання, естетичність, комфортність, комплексність обслуговування).

Стандарти на роботи (процеси) установлюють вимоги до конкретних видів робіт, що здійснюються на різних стадіях життєвого циклу продукції: розробки, виробництва, експлуатації (споживання), зберігання, транспортування, ремонту, утилізації. Зокрема, такі стандарти можуть включати вимоги до методів автоматизованого проектування продукції, модульного конструювання, принципів схем технологічного процесу виготовлення продукту, технологічним режимам або нормам. Особливе місце займають вимоги безпеки для життя і здоров'я людей при здійсненні технологічних процесів, що можуть конкретизуватися стосовно використання визначеного устаткування, інструмента, пристосувань і допоміжних матеріалів.

При проведенні технологічних операцій стандартизації підлягають гранично допустимі норми різного роду впливів технології на природне середовище. Ці впливи можуть носити хімічний (викид шкідливих хімікатів), фізичний (радіаційне випромінювання), біологічний (зараження мікроорганізмами) і механічний (руйнування пам'ятників архітектури) характер, небезпечний в екологічному аспекті. Екологічні вимоги можуть стосуватися умов застосування визначених матеріалів і сировини, потенційно шкідливих для навколишньої природи; параметрів ефективності роботи очисного устаткування; правил аварійних викидів, ліквідації їх наслідків, гранично допустимих норм скидів забруднюючих речовин зі стічними водами.

Стандарти на методи контролю (випробування, вимірювання, аналізу) рекомендують застосовувати методики контролю, що забезпечують найбільшу міру об'єктивності оцінки обов'язкових вимог до якості продукції, які наведені в стандарті на цю продукцію. Головний критерій об'єктивності методу контролю (випробування, вимірювання, аналізу) – відтворюваність і порівнянність результатів. Необхідно користуватися саме стандартизованими методами контролю, випробування, вимірювання і аналізу, тому що вони базуються на міжнародному досвіді і передових досягненнях. Кожний з методів має свою специфіку, яка пов'язана насамперед з конкретним об'єктом контролю, але в той же час можна виділити і загальні положення, що підлягають стандартизації: засоби контролю і допоміжні пристрої; порядок підготовки і проведення контролю;

правила обробки та оформлення результатів; допустиму похибку методу. Стандарт звичайно рекомендує кілька методик контролю стосовно до одного показника якості продукту. Це потрібно для того, щоб одна з методик була обрана як арбітражна, якщо виникає необхідність. Правда, треба мати на увазі, що не завжди методики цілком взаємозамінні. Для таких випадків стандарт приводить або чітку рекомендацію з умов вибору того або іншого методу, або дані про їх відмітні характеристики.

Щоб результати були достовірні і порівнянні, варто користуватися рекомендаціями стандартів щодо способу і місця відбору проби від партії товару з її кількісними характеристиками, схемами випробувальних установок, правилами, що визначають послідовність проведення операцій і обробку отриманих результатів.

### **1.5. Системи стандартів**

Загальнотехнічні та організаційно-методичні стандарти, як правило, поєднуються в комплекси (системи) стандартів для нормативного забезпечення рішення технічних і соціально-економічних задач у визначеній сфері діяльності. В даний час діє понад 40 таких міждержавних систем (систем міждержавних стандартів), що забезпечують організацію виробництва високоякісної продукції. Найбільш важливі з них наступні:

- Національна стандартизація. Стандарти цієї системи позначаються перед номером стандарту цифрою 1.
- Єдина система конструкторської документації (ЄСКД). Стандарти системи ЄСКД позначаються перед номером стандарту цифрою 2.
- Єдина система технологічної документації (ЄСТД). Стандарти системи ЄСТД позначаються перед номером стандарту цифрою 3.
- Система показників якості продукції. Стандарти цієї системи позначаються перед номером стандарту цифрою 4.
- Державна система забезпечення єдності вимірювання (ДСВ). Стандарти цієї системи позначаються цифрою 8.
- Система стандартів безпеки праці (ССБП). Стандарти цієї системи позначаються цифрою 12.
- Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТВ). Стандарти цієї системи позначаються цифрою 14.

– Система розробки і постановки продукції на виробництво (СРПВ). Стандарти цієї системи позначаються цифрою 15.

Слід зазначити, що при розробці ДСТУ в Україні не прийнято відносити стандарти до систем, як було прийнято в СРСР. В Україні використовується наскрізна нумерація стандартів за аналогією зі стандартами ISO, ІЕС, EN. Однак "національну стандартизацію" можна віднести до системи стандартів і ці стандарти позначаються перед номером стандарту цифрою 1.

## **1.6. Основні поняття технічного регулювання**

Закон про технічне регулювання встановлює наступні поняття.

Акредитація – офіційне визнання органом з акредитації компетентності фізичної та юридичної особи виконувати роботи в певній галузі оцінки відповідності.

Безпека продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації – стан, при якому відсутній неприпустимий ризик, який пов'язаний із заподіянням шкоди життю або здоров'ю громадян, майну фізичних або юридичних осіб, державного або муніципального майна, навколишньому середовищу, життю або здоров'ю тварин і рослин.

Ветеринарні- та фітосанітарні заходи – обов'язкові для виконання вимоги і процедури, що встановлюються з метою захисту від ризиків, які виникають в результаті проникнення, закріплення і розповсюдження шкідливих організмів, захворювання, що є носіями хвороб або хвороботворних організмів, в тому числі в разі перенесення або поширення їх тваринами і (або) іншими рослинами; з продукцією, вантажами, матеріалами, транспортними засобами; з наявністю добавок, забруднюючих речовин, токсинів, шкідників, бур'янів, хвороботворних організмів, в тому числі з харчовими продуктами або кормами, а також обов'язкові для виконання вимоги і процедури, що встановлюються з метою запобігання іншої шкоди, яка пов'язана з поширенням шкідливих організмів.

Декларування відповідності – форма підтвердження відповідності продукції вимогам технічних регламентів.

Декларація про відповідність – документ, що засвідчує відповідність продукції, що випускається в товарообіг, вимогам технічних регламентів.

Заявник – фізична або юридична особа, яка здійснює обов'язкове підтвердження відповідності.

Знак обігу на ринку – позначення, що служить для інформування споживачів про відповідність продукції, що випускається в товарообіг, вимогам технічних регламентів.

Знак відповідності – позначення, що служить для інформування споживачів про відповідність об'єкта сертифікації вимогам системи добровільної сертифікації або національному стандарту.

Ідентифікація продукції – встановлення тотожності характеристик продукції її істотним ознакам.

Контроль (нагляд) за дотриманням вимог технічних регламентів – перевірка виконання юридичною особою або індивідуальним підприємцем вимог технічних регламентів до продукції, процесам виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації і вжиття заходів за результатами перевірки.

Міжнародний стандарт – стандарт, прийнятий міжнародною організацією.

Національний стандарт – стандарт, затверджений національним органом України зі стандартизації.

Орган із сертифікації – юридична особа або індивідуальний підприємець, акредитований в індивідуальному порядку для виконання робіт із сертифікації.

Оцінка відповідності – пряме або непряме визначення дотримання вимог, що пред'являються до об'єкту.

Підтвердження відповідності – документальне посвідчення відповідності продукції чи інших об'єктів, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, виконання робіт або надання послуг вимогам технічних регламентів, положенням стандартів або умовам договорів.

Продукція – результат діяльності, представлений в матеріальноречовій формі і призначений для подальшого використання в господарських або інших цілях.

Ризик – ймовірність заподіяння шкоди життю або здоров'ю громадян, майну фізичних та юридичних осіб, державного або муніципального майна, навколишньому середовищу, життю або здоров'ю тварин і рослин з урахуванням тяжкості цієї шкоди.

Сертифікація – форма здійснюваного органом із сертифікації підтвердження відповідності об'єктів вимогам технічних регламентів, положенням стандартів або умовам договорів.

Сертифікат відповідності – документ, що засвідчує відповідність об'єкту вимогам технічних регламентів, положенням стандартів або умовам договорів.

Система сертифікації – сукупність правил виконання робіт із сертифікації, її учасників і правил функціонування системи і сертифікації в цілому.

Стандарт – документ, в якому з метою добровільного багаторазового використання встановлюються характеристики продукції, правила здійснення і характеристики процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, виконання робіт або надання послуг.

Стандарт також може містити вимоги до термінології, символіки, пакування, маркування або етикету і правилам їх нанесення.

Стандартизація – діяльність із встановлення правил і характеристик з метою їх добровільного і багаторазового використання, спрямована на досягнення впорядкованості в сферах виробництва і обігу продукції і підвищення конкурентоспроможності продукції, робіт або послуг.

Технічне регулювання – правове регулювання відносин у сфері встановлення, застосування та виконання обов'язкових вимог до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, а також в галузі встановлення і застосування на добровільній основі вимог до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації; виконання робіт або надання послуг і правове регулювання відносин в області оцінки відповідності.

## **1.7. Принципи технічного регулювання**

Технічне регулювання здійснюється відповідно до принципів:

- застосування єдиних правил встановлення вимог до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, виконання робіт і надання послуг;
- відповідність технічного регулювання рівню розвитку національної економіки, розвитку матеріально-технічної бази, а також рівню науково-технічного розвитку;
- єдина система і правила акредитацій;

- єдині правила і методи досліджень (випробувань) і вимірювань при проведенні процедур обов'язкової оцінки відповідності;
- застосування єдиних вимог технічних регламентів незалежно від видів сертифікації;
- неприпустимість обмеження конкуренції при здійсненні акредитації та сертифікації;
- незалежність органів з акредитації, органів з сертифікації від виробників, продавців, виконавців і споживачів;
- неприпустимість суміщення повноважень органу державного контролю (нагляду) та органу з сертифікації;
- неприпустимість суміщення одним органом повноважень на акредитацію і сертифікацію;
- неприпустимість позабюджетного фінансування державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів.

### ***Контрольні питання***

1. *Що таке стандартизація? Що є об'єктами стандартизації?*
2. *Головна мета та напрямки стандартизації.*
3. *Назвіть основні види стандартизації.*
4. *Перерахуйте види стандартів.*
5. *Назвіть основні принципи стандартизації.*
6. *Перерахуйте основні системи стандартів.*
7. *Основні принципи технічного регулювання.*

## 2. ТЕХНІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ

*Мета розділу: ознайомлення з необхідністю та принципами складання технологічних регламентів.*

### 2.1 Мета прийняття технічних регламентів

Споживання або експлуатація багатьох видів продукції найчастіше пов'язана із ризиком для здоров'я або навіть життя людей, псування або знищення майна, шкідливим впливом на природу, що загрожує негативним впливом на тваринний і рослинний світ.

Технічні регламенти приймаються з метою:

- захисту життя чи здоров'я громадян, майна фізичних або юридичних осіб, державного або муніципального майна;
- охорони довкілля та природних ресурсів, життя або здоров'я тварин і рослин;
- забезпечення національної безпеки та запобігання підприємницькій практиці, що вводить споживача (користувача) в оману.

Законами також можуть бути визначені інші цілі прийняття технічних регламентів.

Технічні регламенти розробляються, приймаються та застосовуються на основі принципів, установлених Угодою Світової організації торгівлі про технічні бар'єри у торгівлі, що є додатком до Марракеської угоди про заснування Світової організації торгівлі 1994 року.

### 2.2. Зміст технічних регламентів

Технічні регламенти з урахуванням ступеня ризику заподіяння шкоди життю та здоров'ю людини, майну і навколишньому середовищу встановлюють мінімально необхідні вимоги, що забезпечують:

- безпеку випромінювань;
- біологічну безпеку;
- вибухобезпечність;
- механічну безпеку;
- пожежну безпеку;

- промислову безпеку;
- термічну безпеку;
- хімічну безпеку;
- електричну безпеку;
- ядерну та радіаційну безпеку;
- електромагнітну сумісність в частині забезпечення безпеки роботи приладів і устаткування;
- єдність вимірювання.

Вимоги технічних регламентів не можуть бути перешкодою до здійснення підприємницької діяльності в більшій мірі, ніж це мінімально необхідно для виконання зазначених вище цілей.

Технічний регламент повинен містити вичерпний перелік продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, щодо яких встановлюються його вимоги, і правила ідентифікації об'єкта технічного регулювання для цілей застосування технічного регламенту. У технічному регламенті можуть міститися правила і форми оцінки відповідності (в тому числі схеми підтвердження відповідності), що визначаються з урахуванням ступеня ризику, граничні терміни оцінки відповідності для кожного об'єкта технічного регулювання та (або) вимоги до термінології, пакування, маркування або етикеток і правилам їх нанесення.

Оцінка відповідності проводиться в формах державного контролю (нагляду), акредитації, випробування, реєстрації, підтвердження відповідності, приймання та введення в експлуатацію об'єкта, будівництво якого закінчено, і в іншій формі.

Щодо технічних регламентів обов'язкові вимоги до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації; правила і форм оцінки відповідності; правила ідентифікації; вимоги до термінології, пакування, маркування або етикеток і правила їх нанесення є вичерпними. Технічний регламент повинен містити вимоги до характеристик продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, але не повинен містити вимоги до конструкції і виконання, за винятком випадків, якщо через відсутність вимог до конструкції і виконання з урахуванням ступеня ризику заподіяння шкоди не забезпечується досягнення зазначених вище цілей.

У технічних регламентах з урахуванням ступеня ризику заподіяння шкоди можуть міститися спеціальні вимоги до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення,

реалізації та утилізації, вимоги до термінології, пакування, маркування або етикеток і правилам їх нанесення, що забезпечують захист окремих категорій громадян (неповнолітніх, вагітних жінок, матерів-годувальниць, інвалідів).

Технічні регламенти застосовуються однаковим чином і в рівній мірі незалежно від країни і (або) місця походження продукції, здійснення процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, видів або особливостей угод і (або) фізичних і (або) юридичних осіб, є виробниками, виконавцями, продавцями, споживачами.

Технічний регламент не може містити вимоги до продукції, що завдає шкоди життю або здоров'ю громадян, що накопичується при тривалому використанні цієї продукції і залежить від інших факторів, які не дозволяють визначити ступінь допустимого ризику. У цих випадках технічний регламент може містити вимогу, що стосується інформування споживача про можливу шкоду і про чинники, від яких він залежить.

Міжнародні стандарти та (або) національні стандарти можуть використовуватися повністю або частково в якості основи для розробки проектів технічних регламентів.

Технічний регламент може містити спеціальні вимоги до продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, термінології, пакування, маркування або етикеток і правилам їх нанесення, що застосовуються в окремих місцях походження продукції, якщо відсутність таких вимог в силу кліматичних та географічних особливостей призведе до недосягнення зазначених вище цілей.

Технічні регламенти встановлюють також мінімально необхідні ветеринарні- і фітосанітарні заходи щодо продукції, яка походить з окремих країн і (або) місць, в тому числі обмеження ввезення, використання, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, щоб забезпечити біологічну безпеку (незалежно від способів забезпечення безпеки).

Ветеринарні- і фітосанітарні заходи розробляються і застосовуються на основі наукових даних, а також відповідно до міжнародних стандартів, рекомендацій та інших документів міжнародних організацій з метою дотримання необхідного рівня ветеринарно- і фітосанітарного захисту, який визначається з урахуванням ступеня фактичного науково обґрунтованого ризику.

Правила і методи дослідження (випробування) і вимірювання, а також правила відбору зразків для проведення дослідження (випробування) і вимірювання, необхідні для застосування технічних регламентів, розробляються державними органами виконавчої влади в межах їх компетенції протягом шести місяців з дня офіційного опублікування технічних регламентів і затверджуються урядовим органом держави.

Урядовий орган розробляє пропозиції про забезпечення відповідності технічного регулювання інтересам національної економіки, рівнем розвитку матеріально-технічної бази і рівню науково-технічного розвитку, а також міжнародним нормам і правилам.

Урядовим органом організується постійний облік і аналіз всіх випадків заподіяння шкоди внаслідок порушення вимог технічних регламентів життю або здоров'ю громадян, майну фізичних або юридичних осіб, державного або муніципального майна, навколишньому середовищу, життю або здоров'ю тварин і рослин з урахуванням тяжкості цієї шкоди, а також організується інформування споживачів, виробників та продавців про ситуацію в сфері дотримання вимог технічних регламентів.

Загальні технічні регламенти приймаються з питань: безпечної експлуатації та утилізації машин і обладнання; безпечної експлуатації будівель, споруд, будівель і безпечного використання прилеглих до них територій; пожежної безпеки; біологічної безпеки; електромагнітної сумісності; екологічної безпеки; ядерної та радіаційної безпеки.

Спеціальні технічні регламенти встановлюють вимоги лише до тих окремих видів продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, ступінь ризику заподіяння шкоди якими вище ступеня ризику заподіяння шкоди, що враховується загальним технічним регламентом.

Сукупністю вимог загальних і спеціальних технічних регламентів визначаються обов'язкові вимоги до окремих видів продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації.

### ***Контрольні питання***

- 1. Мета прийняття технічних регламентів.*
- 2. Зміст технічних регламентів.*

### **3. ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ (НАГЛЯД) ЗА ДОТРИМАННЯМ ТЕХНІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ**

*Мета розділу: ознайомлення зі структурою та правами органів державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів.*

#### **3.1. Органи і об'єкти державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів**

Державний контроль (нагляд) за дотриманням вимог технічних регламентів здійснюється органами виконавчої влади. Державний контроль (нагляд) за дотриманням вимог технічних регламентів здійснюється посадовими особами органів державного контролю (нагляду) в порядку, встановленому законодавством держави.

Державний контроль (нагляд) за дотриманням вимог технічних регламентів здійснюється щодо продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації виключно в частині дотримання вимог відповідних технічних регламентів.

Щодо продукції державний контроль (нагляд) за дотриманням вимог технічних регламентів здійснюється виключно на стадії реалізації продукції. При здійсненні заходів з державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів використовуються правила і методи досліджень (випробувань) і вимірювань, які встановлені для відповідних технічних регламентів в порядку, передбаченому державними законами.

#### **3.2 Повноваження і відповідальність органів державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів**

На підставі положень і вимог технічних регламентів органи державного контролю (нагляду) мають право:

– вимагати від виробника (продавця, особи, що виконує функції іноземного виробника) пред'явлення декларації про відповідність або сертифіката відповідності, що підтверджують відповідність продукції вимогам технічних регламентів, або їх копій,

якщо застосування таких документів передбачено відповідним технічним регламентом;

– здійснювати заходи з державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів в порядку, встановленому законодавством України;

– видавати приписи про усунення порушень вимог технічних регламентів в термін, встановлений з урахуванням характеру порушення;

– приймати мотивовані рішення про заборону передачі продукції, а також про повне або часткове призупинення процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, якщо виробник (продавець, особа, яка виконує функції іноземного виробника) зобов'язаний вжити необхідних заходів для того, щоб до завершення перевірки, не збільшилася можлива шкода, що пов'язана її поверненням даної продукції.

При підтвердженні достовірності інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів виробник (продавець, особа, яка виконує функції іноземного виробника) протягом 10 днів з моменту підтвердження достовірності такої інформації зобов'язаний розробити програму заходів щодо запобігання заподіяння шкоди і узгодити її з органом державного контролю (нагляду) в відповідно до його компетенції.

Усунення недоліків, а також транспортування продукції до місця усунення недоліків і повернення її споживачам здійснюються виробником (продавцем, особою, яка виконує функції іноземного виробника) і за його рахунок.

У разі якщо загроза заподіяння шкоди не може бути усунена шляхом проведення заходів, зазначених вище, виробник (продавець, особа, яка виконує функції іноземного виробника) зобов'язаний негайно припинити виробництво і реалізацію продукції, відкликати продукцію та відшкодувати споживачам збитки, що виникли в зв'язку з відкликанням продукції.

На весь період дії програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди виробник (продавець, особа, яка виконує функції іноземного виробника) за свій рахунок зобов'язаний забезпечити споживачам можливість отримання оперативної інформації про необхідні дії.

### **3.3. Права органів державного контролю (нагляду) при отриманні інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів**

Органи державного контролю (нагляду) в разі отримання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів в можливо короткі терміни проводять перевірку достовірності отриманої інформації.

В ході проведення перевірки органи державного контролю (нагляду) мають право:

- вимагати від виробника (продавця, особи, що виконує функції іноземного виробника) матеріали перевірки достовірності інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів;

- направляти запит виробнику (виконавцю, продавцю, особі, що виконує функції іноземного виробника) та іншим особам щодо додаткової інформації про продукцію, процеси виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, в тому числі результати дослідження (випробування) і вимірювання, що проведені під час здійснення обов'язкового підтвердження відповідності;

- направляти запити в інші органи виконавчої влади;

- при необхідності залучати фахівців для аналізу отриманих матеріалів.

Якщо інформація про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів визнана достовірною, орган державного контролю (нагляду) в відповідно до його компетенції протягом 10 днів видає припис про розробку виробником (продавцем, особою, яка виконує функції іноземного виробника) програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди, сприяє в її реалізації та контролює її виконання.

Орган державного контролю (нагляду) здійснює такі дії:

- сприяє поширенню інформації про терміни і порядок проведення заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;

- примушує виробника (продавця, особи, що виконує функції іноземного виробника) та інших осіб надати документи, що підтверджують проведення заходів, зазначених в програмі заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;

- перевіряє дотримання термінів, зазначених у програмі заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;
- приймає рішення про звернення до суду з позовом про примусове відкликання продукції.

У разі невиконання припису, зазначеного вище, або невиконання програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди орган державного контролю (нагляду) в відповідно до його компетенції, а також інші особи, яким стало відомо про невиконання виробником (продавцем, особою, яка виконує функції іноземного виробника) програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди, має право звернутися до суду з позовом про примусове відкликання продукції.

При задоволенні позову про примусове відкликання продукції суд зобов'язує відповідача вчинити певні дії, пов'язані з відкликанням продукції, у встановлений судом термін, а також довести рішення суду не пізніше одного місяця з дня його вступу і вимірювання, які проведені під час здійснення обов'язкового підтвердження відповідності.

Якщо відповідач не виконає рішення суду у встановлений термін, позивач має право вчинити ці дії за рахунок відповідача зі стягненням з нього необхідних витрат. За порушення вимог стандартів про відкликання продукції можуть застосовуватися заходи кримінального та адміністративного впливу відповідно до законодавства. .

### **3.4. Інформації про технічні регламенти та документи із стандартизації**

З 2016 р. набув чинності закон України № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Цей Закон визначає правові та організаційні засади розроблення і застосування технічних регламентів та процедур оцінки відповідності, а також основоположні принципи державної політики у сфері стандартизації, технічного регулювання та оцінки відповідності.

Відповідно до нього національні стандарти і загальноукраїнські класифікатори, а також інформація про їх розроблення повинна бути доступна зацікавленим особам.

Офіційне опублікування в установленому порядку національних стандартів і загальноукраїнських класифікаторів здійснюється

національним органом із стандартизації. Порядок опублікування визначається урядом.

Технічні регламенти, документи національної системи стандартизації, міжнародні стандарти, правила стандартизації, норми стандартизації та рекомендації із стандартизації, національні стандарти інших держав і інформація про міжнародні договори в галузі стандартизації та підтвердження відповідності та правила їх застосування складають фонд технічних регламентів і стандартів (державний інформаційний ресурс).

Міжнародні стандарти, регіональні стандарти, регіональні зведення правил, стандарти іноземних держав і зводи правил іноземних держав, в результаті застосування яких на добровільних засадах забезпечується дотримання вимог прийнятого технічного регламенту або які містять правила і методи дослідження (випробування) і вимірювання, в тому числі правила відбору зразків, необхідних для виконання положень і виконання прийнятого технічного регламенту та здійснення оцінки відповідності, підлягають реєстрації у фонді технічних регламентів і стандартів. Для здійснення реєстрації стандартів і зводів правил відповідна особа подає у національний орган зі стандартизації заяву про реєстрацію відповідного стандарту або зводу правил. Разом з документами, необхідними для реєстрації стандарту або зводу правил, в національний орган із стандартизації також можуть бути представлені висновки загальноукраїнських громадських організацій підприємців, Торгово-промислової палати України. У цих висновках можуть міститися рекомендації про застосування міжнародного стандарту, регіонального стандарту, стандарту іноземної держави і зводу правил іноземної держави для забезпечення дотримання на добровільній основі вимог прийнятого технічного регламенту або для проведення дослідження (випробування) і вимірювання, відбору зразків, необхідних для застосування і виконання прийнятого технічного регламенту та здійснення оцінки відповідності.

Підставою для відмови в реєстрації стандарту є недотримання вимог, передбачених процедурою подачі заяви, а також мотивований висновок технічного комітету (технічних комітетів) із стандартизації про відхилення стандарту. Підставою для відмови про прийняття зареєстрованого стандарту до переліку документів в галузі стандартизації, в результаті застосування яких на добровільних засадах забезпечується дотримання вимог прийнятого технічного

регламенту, є також мотивований висновок технічного комітету (технічних комітетів) із стандартизації про неможливість його застосування для цілей оцінки відповідності.

Протягом 5 днів з дня прийняття рішення, щодо представленого на реєстрацію стандарту, національний орган зі стандартизації направляє зацікавленій особі (особам) копію рішення разом з висновком технічного комітету (технічних комітетів) із стандартизації. Відмова національного органу із стандартизації в реєстрації і (або) прийняття стандарту до переліку документів в галузі стандартизації може бути оскаржена в судовому порядку.

### ***Контрольні питання***

- 1. Права органів державного контролю, щодо нагляду за дотриманням вимог технічних регламентів.*
- 2. Дії органів державного контролю у разі виявлення продукції, що не відповідає вимогам технічних регламентів.*

## 4. МЕТРОЛОГІЯ

*Мета розділу: ознайомлення з основами служби метрології.*

Закон про забезпечення єдності вимірювання регулює відносини, що виникають при виконанні вимірювання, встановлення та дотримання вимог до вимірювання, одиницям величин, стандартам одиниць величин, стандартних зразків, засобів вимірювання, застосування стандартних зразків, засобів вимірювання, методик (методів) вимірювання, а також при здійсненні діяльності щодо забезпечення єдності вимірювання, яка передбачена законодавством України.

Сфера державного регулювання забезпечення єдності вимірювання поширюється на одиниці величин, еталони одиниць величин, стандартні зразки і засобів вимірювання, до яких встановлені обов'язкові вимоги.

Особливості забезпечення єдності вимірювання при здійсненні діяльності в галузі оборони і безпеки держави встановлюються Урядом держави.

У Законі про забезпечення єдності вимірювання:

- регламентовані основні поняття в галузі вимірювання;
- встановлені вимоги до вимірювання, одиницям величин, стандартам одиниць величин, стандартних зразків і засобів вимірювання;
- визначено порядок державного регулювання в галузі забезпечення єдності вимірювання;
- встановлений порядок калібрування засобів вимірювання і акредитації в області забезпечення єдності вимірювання;
- визначені завдання і функції інформаційного фонду щодо забезпечення єдності вимірювання;
- встановлені організаційні основи забезпечення єдності вимірювання і відповідальність за їх порушення.

### 4.1. Основні поняття в галузі вимірювання

У Законі про забезпечення єдності вимірювання застосовуються наступні основні поняття.

**Атестація методик (методів) вимірювання** – дослідження та підтвердження відповідності методик (методів) вимірювання встановленим метрологічним вимогам до вимірювання.

**Введення в експлуатацію засобів вимірювання** – документально оформлена в установленому порядку готовність засобів вимірювання до використання за призначенням.

**Державний метрологічний нагляд** – контрольна діяльність в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювання, яка здійснюється уповноваженими органами виконавчої влади і полягає в систематичній перевірці дотримання вимог, що встановлені чинним законодавством.

**Державний первинний еталон одиниці величини** – державний еталон одиниці величини, що забезпечує відтворення, зберігання і передачу одиниці величини з найвищою точністю, що затверджується в цій якості у встановленому порядку і застосовується в якості вихідного на території держави.

**Державний еталон одиниці величини** – еталон одиниці величини, що знаходиться у державній власності.

**Одиниця величини** – фіксоване значення величини, яке прийнято за одиницю цієї величини і застосовується для кількісного вираження однорідних з нею величин.

**Єдність вимірювання** – стан вимірювання, за якого їх результати виражені в допущених до застосування в державі одиницях величин, а показники точності вимірювання не виходять за встановлені межі.

**Вимірювання** – сукупність операцій, які виконуються для визначення кількісного значення величини.

**Випробування стандартних зразків** або засобів вимірювальної техніки з метою затвердження типу – роботи із визначення метрологічних і технічних характеристик однотипних стандартних зразків або засобів вимірювальної техніки.

**Калібрування засобів вимірювальної техніки** – сукупність операцій, що виконуються з метою визначення дійсних значень метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки.

**Методика (метод) вимірювання** – сукупність конкретно описаних операцій, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювання із встановленими показниками точності.

**Метрологічна служба** – організує і (або) виконує роботи із забезпечення єдності вимірювання і (або) надає послуги із

забезпечення єдності вимірювання структурний підрозділ центрального апарату органу виконавчої влади і (або) його територіального органу, юридична особа або структурний підрозділ юридичної особи або об'єднання юридичних осіб, працівники юридичної особи, індивідуальний підприємець.

**Метрологічна експертиза** – аналіз і оцінка правильності встановлення і дотримання метрологічних вимог відповідно до об'єкта, що проходить експертизу. Метрологічна експертиза проводиться в обов'язковому (обов'язкова метрологічна експертиза) або добровільному порядку.

**Метрологічні вимоги** – вимоги до характеристик (параметрів) вимірювання, еталонів одиниць величин, стандартних зразків, засобів вимірювання, які впливають на результат і показники точності вимірювання, а також до умов, при яких ці характеристики (параметри) повинні бути забезпечені.

**Обов'язкові метрологічні вимоги** – метрологічні вимоги, що встановлені нормативними правовими актами держави.

**Передача одиниці величини** – приведення одиниці величини, що зберігається засобом вимірювання, до одиниці величини, що відтворюється еталоном даної одиниці величини або стандартним зразком.

**Повірка засобів вимірювальної техніки** (далі – перевірка) – сукупність операцій, що виконуються з метою підтвердження відповідності засобів вимірювальної техніки метрологічним вимогам.

**Відстеження** – властивість еталона одиниці величини або засобів вимірювання, що полягає в документальному підтвердженні встановлення їх зв'язку з державним первинним еталоном відповідної одиниці величини за допомогою звірення еталонів одиниць величин, повірки, калібрування засобів вимірювальної техніки.

**Пряме вимірювання** – вимірювання, при якому значення величини отримують безпосередньо від засобу вимірювання.

**Звірення еталонів одиниць величин** – сукупність операцій, що встановлюють співвідношення між одиницями величин, що відтворюються еталонами одиниць величин одного рівня точності і в однакових умовах.

**Засіб вимірювань** – технічний засіб, призначений для вимірювання.

**Стандартний зразок** – зразок речовини (матеріалу) з встановленими за результатами випробування значеннями однієї і

більше величин, що характеризують склад або властивість цієї речовини (матеріалу).

**Технічні системи та пристрої з вимірювальними функціями** – технічні системи та пристрої, які поряд з їх основними функціями виконують вимірювальні функції.

**Технічні вимоги до засобів вимірювань** – вимоги, які визначають особливості конструкції засобів вимірювання (без обмеження їх технічного вдосконалення) з метою збереження їх метрологічних характеристик в процесі експлуатації засобів вимірювання, досягнення достовірності результату вимірювання, запобіганню несанкціонованого настроювання і втручання, а також вимоги, що забезпечують безпеку і електромагнітну сумісність засобів вимірювання.

**Тип засобів вимірювання** – сукупність засобів вимірювальної техніки, призначених для вимірювання одних і тих же величин, виражених в одних і тих же одиницях величин, заснованих на одному і тому ж принципі дії, що мають однакову конструкцію і виготовлених за однією і тією ж технічною документацією.

**Тип стандартних зразків** – сукупність стандартних зразків одного і того ж призначення, що виготовляються з однієї і тої ж речовини (матеріалу) за однією та тою ж технічною документацією.

**Затвердження типу стандартних зразків або типу засобів вимірювальної техніки** – документально оформлена в установленому порядку рішення про визнання відповідності типу стандартних зразків або типу засобів вимірювальної техніки метрологічним і технічним вимогам (характеристикам) на підставі результатів випробування стандартних зразків або засобів вимірювальної техніки з метою затвердження типу.

**Фасовані товари в упаковці** – товари, які пакуються у відсутність споживача, при цьому вміст упаковки не може бути змінено без її розкриття або деформування, а маса, об'єм, довжина, площа чи інші величини, які визначають кількість товару, що міститься в упаковці, повинні бути позначені на упаковці.

**Еталон одиниці величини** – технічний засіб, призначений для відтворення, збереження і передачі одиниці величини.

## 4.2. Організаційні основи метрологічного забезпечення

Під метрологічним забезпеченням розуміють встановлення наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювання.

Національна метрологічна служба України (НМСУ) – мережа структурних підрозділів центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій, діяльність якої спрямована на забезпечення єдності вимірювань у державі.

Національна метрологічна служба є організаційною основою метрологічної системи України.

До національної метрологічної служби належать:

1) центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності (Міністерство економічного розвитку і торгівлі України);

2) центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності (Міністерство економічного розвитку і торгівлі України);

3) центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду;

4) наукові метрологічні центри;

5) державні підприємства, які належать до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, та провадять метрологічну діяльність в Автономній Республіці Крим, областях, містах (далі – метрологічні центри);

6) Служба єдиного часу і еталонних частот, Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;

7) метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, підприємств та організацій;

8) органи з оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки та повірочні лабораторії.

Постановою Кабінету Міністрів України від 27.05.2015 р. № 330 “Про визначення наукових метрологічних центрів” ними визначено наступні організації: Національний науковий центр “Інститут метрології”; Державне підприємство “Всеукраїнський державний

науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів”; Державне підприємство “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем”; Державне підприємство “Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації”.

Державні наукові метрологічні центри зберігають державні еталони, проводять дослідження в області теорії вимірювання, застосування принципів і методів високоточного вимірювання, розробки науково-методичних основ вдосконалення системи вимірювання, розробляють нормативні документи щодо забезпечення єдності вимірювання.

Основними функціями метрологічної служби центрального органу виконавчої влади, іншого державного органу є:

- забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності;
- здійснення аналізу стану забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності;
- організація, проведення аналізу інформації стосовно міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань на підприємствах, в установах та організаціях, що належать до сфери управління відповідного центрального органу виконавчої влади, іншого державного органу;
- забезпечення ефективної взаємодії з іншими суб’єктами структури національної метрологічної служби щодо забезпечення єдності вимірювань;
- розроблення програм щодо вдосконалення забезпечення єдності вимірювань, спрямованих на підвищення безпечності та якості продукції, що випускається (послуг, що надаються), шляхом підвищення точності та достовірності результатів перевірки на всіх етапах технологічного процесу виробництва продукції (надання послуг) з використанням засобів вимірювальної техніки;
- здійснення аналізу матеріалів, наданих метрологічними службами підприємств, установ та організацій, що належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, або особами, відповідальними за забезпечення єдності вимірювань, щодо наявності, використання та потреби в методиках вимірювань та засобах

- вимірювальної техніки; підготовка пропозицій з упорядкування їх номенклатури;
- участь у розробленні сучасних методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки;
  - підготовка пропозицій щодо проведення робіт з національної стандартизації у сфері метрології та метрологічної діяльності;
  - підготовка пропозицій та проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з питань забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності;
  - розроблення планів робіт з перевірки, перегляду та скасування галузевих нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності;
  - організація і проведення експертизи технічних завдань, звітів про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, що проводяться у визначеній сфері діяльності;
  - організація та проведення заходів, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань на підприємствах, в установах та організаціях, що належать до сфери управління відповідного центрального органу виконавчої влади, іншого державного органу;
  - організація нарад, семінарів, конференцій, виставок з питань забезпечення єдності вимірювань, інших заходів з обміну досвідом у сфері метрології та метрологічної діяльності;
  - облік підприємств, установ та організацій у визначеній сфері діяльності, що займаються виробництвом, ремонтом, продажем і прокатом засобів вимірювальної техніки, виконують певні вимірювання у сфері законодавчо регульованої метрології, а також повірочних лабораторій, уповноважених на проведення повірки, та калібрувальних лабораторій;
  - підтримка в контрольному стані нормативних документів щодо забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності з метою інформаційного забезпечення;
  - організація робіт з підвищення кваліфікації метрологів та фахівців, що працюють у відповідних метрологічних службах.

Нині в Україні створена база даних організацій метрологічного контролю та повірочних лабораторій (всього 59 організацій), що

уповноважені на проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації.

До числа державних служб, що забезпечують єдність вимірювань в нашій країні, відносяться Служба єдиного часу і еталонних частот, Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Служба єдиного часу і еталонних частот здійснює міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі та надання часо-частотної інформації споживачам в економіці, у сфері науки та оборони, а також фізичним та юридичним особам, у тому числі надання інформації для забезпечення застосування єдиного обліково-звітного часу.

Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів здійснює міжгалузеву координацію та забезпечує виконання робіт, пов'язаних із розробленням і впровадженням стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів.

Служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів здійснює міжгалузеву координацію та забезпечує виконання робіт, пов'язаних з розробленням і впровадженням стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів, а також забезпечує розробку засобів зіставлення характеристик стандартних зразків з характеристиками речовин і матеріалів, які виробляються промисловими, сільськогосподарськими та іншими підприємствами, для їх ідентифікації, або контролю.

#### **4.3. Метрологічні служби органів управління, на підприємствах і в організаціях**

Метрологічні служби органів управління створюються в міністерствах (агентствах, комітетах) з метою виконання робіт із забезпечення єдності і необхідної точності вимірювання, проведення метрологічного контролю і нагляду.

Такі служби функціонують також в складі великих виробничих об'єднань та інших організаціях. Метрологічні служби регіональних органів управління здійснюють свою діяльність відповідно до закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність". Основні цілі,

завдання, права та обов'язки метрологічних служб державних органів управління визначені у "Типовому положенні про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, органів управління об'єднань підприємств, підприємств та організацій"

Метрологічна служба органу управління об'єднань підприємств, підприємства, установи та організації очолюється головним метрологом, який призначається на посаду та звільняється з посади керівником органу управління об'єднань підприємств, підприємства, установи та організації.

Структура метрологічної служби органу управління об'єднань підприємств, підприємства, установи та організації містить або поєднує в собі структурні (відокремлені) підрозділи, що здійснюють діяльність у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Якщо через недостатній обсяг робіт (надання послуг) із забезпечення єдності вимірювань утворення метрологічних служб є недоцільним, призначається відповідальна особа, на яку покладаються функції із забезпечення єдності вимірювань.

Основними функціями метрологічної служби органу управління об'єднань підприємств, підприємства, установи та організації та особи, відповідальної за забезпечення єдності вимірювань, є:

- здійснення аналізу стану вимірювань на всіх стадіях розроблення та виготовлення продукції (надання послуг);
- забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності;
- узагальнення результатів аналізу та оцінки стану засобів вимірювальної техніки, їх ремонту і використання, а також забезпечення єдності вимірювань для розроблення та виробництва продукції (надання послуг);
- визначення необхідної номенклатури засобів вимірювальної техніки та їх застосування з метою ефективного контролю технологічних процесів та характеристик готової продукції (послуги, що надається);
- надання методичної та практичної допомоги органам управління об'єднань підприємств, підприємствам, установам та організаціям щодо розроблення і застосування нових засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);
- забезпечення зберігання еталонів, засобів вимірювальної техніки та допоміжних засобів повірки;

- створення та застосування сучасних методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки;
- участь у розробленні методів вимірювань і засобів вимірювальної техніки та створенні допоміжних засобів повірки, узгодження пропозицій щодо їх розроблення та випуску із заінтересованими органами управління об'єднань підприємств, підприємствами, установами та організаціями;
- участь у розробленні стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів;
- проведення експертизи технічних завдань, проектної, конструкторської, технологічної документації, звітів про науково-дослідні роботи;
- розроблення та застосування стандартів та інших документів органів управління об'єднань підприємств, підприємств, установ та організацій, що регламентують питання забезпечення єдності вимірювань;
- проведення моніторингу причин виготовлення неякісної продукції (надання неякісної послуги), що не відповідає метрологічним вимогам;
- організація проведення в установленому порядку калібрування і ремонту засобів вимірювальної техніки;
- установлення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки;
- взаємодія з науковими метрологічними центрами та державними підприємствами, які належать до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, та провадять метрологічну діяльність;
- проведення внутрішньої перевірки органами управління об'єднань підприємств, підприємствами, установами та організаціями щодо забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності;
- організація і проведення робіт з підвищення кваліфікації, підготовки та перепідготовки метрологів та фахівців, що працюють у відповідних метрологічних службах.

#### **4.4. Державне регулювання у сфері забезпечення єдності вимірювань**

Державне регулювання в сфері забезпечення єдності вимірювань здійснюється в наступних формах:

- затвердження типу стандартних зразків або типу ЗВТ;
- повірка ЗВТ;
- метрологічна експертиза;
- державний метрологічний контроль і нагляд;
- атестація методик (методів) вимірювань і ін.

Тип стандартних зразків або тип засобів вимірювальної техніки, що застосовуються в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань, підлягає обов'язковому затвердженню. При затвердженні типу засобів вимірювальної техніки встановлюються показники точності, інтервал між перевірками ЗВТ, а також методика повірки даного типу ЗВТ.

Рішення про затвердження типу стандартних зразків або типу ЗВТ приймається державним органом виконавчої влади, що здійснює функції з надання державних послуг і управління державним майном в галузі забезпечення єдності вимірювань, на підставі позитивних результатів випробувань стандартних зразків або ЗВТ з метою затвердження типу.

Затвердження типу стандартних зразків або типу ЗВТ засвідчується свідоцтвом про затвердження типу стандартних зразків або типу ЗВТ, що видаються державним органом виконавчої влади, що здійснює функції з надання державних послуг і управління державним майном в області забезпечення єдності вимірювань. Протягом терміну дії свідоцтва про затвердження типу ЗВТ інтервал між перевірками ЗВТ може бути змінений тільки державним органом виконавчої влади.

Повірку засобів вимірювальної техніки здійснюють акредитовані в установленому порядку в області забезпечення єдності вимірювань юридичні особи.

Засоби вимірювальної техніки, призначені для застосування в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань, до введення в експлуатацію, а також після ремонту підлягають первинній повірці, а в процесі експлуатації – періодичній. Якщо ЗВТ застосовуються в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювання юридичними особи та індивідуальними

підприємцями, то вони зобов'язані своєчасно подавати ці засоби вимірювальної техніки на перевірку.

Результати повірки засобів вимірювальної техніки засвідчуються знаком, або свідоцтвом про повірку. Засоби вимірювальної техніки, що не призначені для застосування в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань, можуть піддаватися перевірці в добровільному порядку.

Вимоги, що вказані в проектах нормативних правових актів до вимірювання, стандартних зразків і засобів вимірювальної техніки підлягають обов'язковій метрологічній експертизі. Висновки обов'язкової метрологічної експертизи щодо зазначених вимог розглядаються та приймаються державними органами виконавчої влади.

Обов'язкова метрологічна експертиза в проектах нормативних правових актів вимог до вимірювання, стандартних зразків і ЗВТ проводиться державними науковими метрологічними інститутами.

Обов'язкову метрологічну експертизу стандартів, продукції, проектної, конструкторської, технологічної документації та інших об'єктів проводять акредитовані в області забезпечення єдності вимірювання юридичні особи та індивідуальні підприємці.

В добровільному порядку може проводитися метрологічна експертиза продукції, проектної, конструкторської, технологічної документації та інших об'єктів, щодо яких законодавством України не передбачена обов'язкова метрологічна експертиза.

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюється НМС з метою перевірки дотримання користувачами ЗВТ Закону про метрологію та метрологічну діяльність, вимог технічних регламентів та інших нормативних документів в галузі метрології і включає в себе нагляд:

- за дотриманням обов'язкових вимог у сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань до вимірювання, одиницям величин, а також до еталонів одиниць величин, стандартних зразків, ЗВТ при їх випуску із виробництва, ввезення на територію України, продажу та застосуванні на території України;

- наявністю і дотриманням атестованих методик (методів) вимірювання;

- дотриманням обов'язкових вимог до відхилень кількості фасованих товарів в упаковках від заявленого значення.

Державний метрологічний нагляд поширюється на діяльність юридичних осіб, які здійснюють:

- вимірювання, що належать до сфери державного регулювання забезпечення єдності вимірювання;
- випуск з виробництва призначених для застосування в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювання еталонів одиниць величин, стандартних зразків і ЗВТ, а також їх ввезення на територію держави. розфасовку товарів.

Державний метрологічний нагляд здійснюється державним органом виконавчої влади, що виконує функції із державного метрологічного нагляду, а також іншими органами виконавчої влади. При розподілі повноважень не допускається одночасне покладання повноважень з перевірки дотримання одних і тих же вимог у одного суб'єкта перевірки на два і більше органа виконавчої влади.

Посадові особи, які проводять передбачену перевірку, при пред'явленні службового посвідчення і розпорядженні державного органу виконавчої влади, який здійснює державний метрологічний нагляд, при проведенні перевірки має право:

- відвідувати об'єкти (території і приміщення) юридичних осіб та індивідуальних підприємців з метою здійснення державного метрологічного нагляду під час виконання службових обов'язків;
- отримувати документи і відомості, необхідні для проведення перевірки.

Посадові особи, які здійснюють державний метрологічний нагляд, зобов'язані:

- перевіряти відповідність одиниць величин, що використовуються, одиницям величин, які допущені до застосування в державі.
- перевіряти стан і застосування еталонів одиниць величин, стандартних зразків і ЗВТ з метою встановлення їх відповідності обов'язковим вимогам;
- перевіряти наявність і дотримання атестованих методик (методів) вимірювання;
- перевіряти дотримання обов'язкових вимог при вимірюванні і обов'язкових вимог до відхилень кількості фасованих товарів в упаковках від заявленого значення;
- зберігати державну, комерційну, службову та іншу таємницю, що охороняється законом.

При виявленні порушень посадова особа, яка здійснює державний метрологічний нагляд, зобов'язана:

- заборонити випуск (зняти із виробництва), ввезення на територію держави і продаж призначених для застосування в сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань стандартних зразків і ЗВТ тих типів, що не затверджені або не відповідають обов'язковим вимогам;
- заборонити застосування стандартних зразків і ЗВТ тих типів, що не затверджені, або стандартних зразків і ЗВТ, які не відповідають обов'язковим вимогам, а також неповірених ЗВТ при виконанні вимірювання, що належать до сфери державного регулювання забезпечення єдності вимірювання;
- давати обов'язкові до виконання приписи і встановлювати терміни усунення порушень.

#### **4.5. Міжнародні метрологічні організації**

Міжнародне співробітництво в галузі метрології є важливим фактором у вирішенні таких міжнародних проблем, як торгівля, науково-технічне співробітництво, проблеми сировини, палива і енергетики, продовольства, охорони навколишнього середовища, використання ресурсів Світового океану і т.п.

Метрологія забезпечує рішення перерахованих проблем при дотриманні єдності вимірювання як необхідної умови зіставлення результатів випробування і сертифікації продукції. Саме це завдання є найважливішою в діяльності міжнародних метрологічних організацій, завдяки зусиллям яких прийнята Міжнародна система одиниць фізичних величин (система СІ), діє сумісна термінологія, прийняті рекомендації з випробування засобів вимірювальної техніки перед випуском серійної продукції і т.п.

Найбільш відомими є Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ), Міжнародна організація мір і ваг (МОМВ), Європейська організація з метрології (ЄВРОМЕТ) і ряд інших.

Міжнародна організація законодавчої метрології – міжурядова організація, створена з ініціативи СРСР в 1956 р. Організація об'єднує понад 80 держав.

Головні цілі МОЗМ – розробка загальних питань законодавчої метрології, в тому числі встановлення класів точності ЗВТ, забезпечення однаковості визначення типів і зразків систем ЗВТ,

рекомендацій з випробування з метою встановлення однаковості метрологічних характеристик ЗВТ незалежно від держави виробника, визначення порядку повірки та калібрування ЗВТ.

Міжнародна організація законодавчої метрології видає міжнародні рекомендації, які охоплюють: термінологію в галузі метрології, вимоги до метрологічних характеристик ЗВТ, способи відображення похибок ЗВТ і результатів вимірювання, вимоги до метрологічної діяльності, які стосуються випробування, повірки, сертифікації, калібрування ЗВТ, метрологічного контролю і нагляду за забезпеченням єдності вимірювання і т.п. Документи МОЗМ носять рекомендаційний характер.

Участь України в роботі міжнародних, європейських та регіональних організацій зі стандартизації, метрології та сертифікації є актуальним напрямом становлення національної системи технічного регулювання з метою сприяння налагодженню міжнародної торгівлі та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції, узгодженості національної технічної політики з торговими партнерами України, захисту державних інтересів.

Членство України у вищезазначених організаціях сприяє впровадженню досягнень технічного прогресу та розвитку технологій, надає можливість узгоджувати національну технічну політику з технічною політикою, яку проводять торгові партнери України, розвивати й удосконалювати національну систему технічного регулювання відповідно до існуючої світової практики, актуалізувати фонд нормативних документів, а також налагоджувати і розвивати ділові та ефективні взаємовідносини з країнами-торговельними партнерами України.

Україна є членом Міжнародної організації законодавчої метрології з 1993 р., що дозволяє активно впливати на зміст прийнятих рекомендацій, та дає можливість удосконалювати метрологічну діяльність в країні, гармонізувати її з іншими міжнародними організаціями в галузі стандартизації та метрології.

Україна представлена у 9 міжнародних, європейських і регіональних організаціях зі стандартизації, метрології та сертифікації:

- Міжнародній організації зі стандартизації (ISO);
- Міжнародній електротехнічній комісії (МЕК);
- Європейському комітеті зі стандартизації (ЄКС);

- Європейському комітеті зі стандартизації в електротехніці (ЄКСЕТ);
- Міжнародній організації законодавчої метрології (МОЗМ);
- Міжнародна організація з мір і ваги (МОМВ);
- Організації Євразійського співробітництва державних метрологічних установ (ОЕСДМУ);
- Європейській асоціації міжнародних метрологічних інститутів (ЄАММІ);
- Міждержавній раді зі стандартизації, метрології та сертифікації (МДР).

Міжнародна організація мір і ваги (МОМВ) була створена в 1875 р. на основі Метричної конвенції, підписаної 17 державами. В даний час її членами є 50 країн світу.

Мета МОМВ – уніфікація національних систем одиниць вимірювання, фізичних величин і встановлення єдиних фактичних еталонів довжини і маси (метра і кілограма). Відповідно до згаданої Конвенції було створено Міжнародне бюро мір і ваг (МБМВ) – міжнародна науково-дослідна лабораторія, яка зберігає і підтримує міжнародні еталони. У практичному плані головним завданням МБМВ є порівняння національних еталонів з міжнародними. Науковий напрямок роботи – вдосконалення метричної системи вимірів і міжнародних стандартів, розробка і застосування нових методів і засобів точних вимірювань, координація науково-дослідних робіт країн-членів в галузі метрології.

Вищим органом МОМВ є Генеральна конференція з мір та ваг (ГКМВ), яка збирається не рідше одного разу на чотири роки. У проміжках між конференціями роботою МОМВ керує Міжнародний комітет мір і ваг, в який входять найбільші фізики і метрологи світу. Міжнародний комітет мір і ваг складається, в свою чергу, з консультативних комітетів, які готують матеріали для ГКМВ, зокрема комітетів із визначення метра, маси, визначенню секунди, електрики, термометрії, фотометрії, стандартам для іонізуючого випромінювання, одиницям фізичних величин.

Результати наукових робіт МОМВ значні. Досить назвати прийняття в Міжнародній системі одиниць нових визначень секунди, метра, електричних одиниць та ін. Важливим результатом участі в роботі МОМВ є перехід країн на єдині одиниці і еталони. Це забезпечує основу для взаємного визнання результатів вимірювання і

випробування, що дозволяє усунути технічні бар'єри в міжнародній торгівлі.

Серед регіональних міжнародних організацій з метрології, які з'явилися в останні роки, слід згадати Європейську організацію з метрології. Вона працює в області дослідження і розробки національних еталонів, сприяє розвитку повірочних служб країн-членів на вищому метрологічному рівні, розробляє методи вимірювання найвищої точності.

Багато міжнародних організацій, формально не будучи метрологічними організаціями, поряд зі своєю основною діяльністю розробляють міжнародні стандарти та рекомендації щодо метрологічної термінології і методиками виконання вимірювань при випробуваннях продукції, а також щодо встановлення шкал вимірювань і т. д.

Між державами – колишніми республіками СРСР, членами СНД підписано Міжурядову угоду про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Відповідно до цього документа зберігається єдність вимірювання на основі державних стандартів СРСР (тепер національних стандартів України), використання єдиних еталонів, стандартних довідкових даних, стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів. Угода містить положення про взаємне визнання результатів випробувань ЗВТ і їх повірки.

### ***Контрольні питання***

- 1. Склад національної метрологічної служби України.*
- 2. Основні функції метрологічної служби центрального органу виконавчої влади.*
- 3. Основні функції метрологічної служби підприємства.*
- 4. Основні міжнародні метрологічні організації.*

## 5. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ОДИНИЦІ

*Мета розділу: ознайомлення з основними міжнародними системами одиниць.*

### 5.1. Види фізичних величин і одиниць

У науці, техніці та повсякденному житті людина має справу з різноманітними властивостями навколишніх тіл. Ці властивості відображають процеси взаємодії тіл між собою і їх вплив на органи чуття. Для опису властивостей вводяться фізичні величини, кожна з яких є якісно-загальною для багатьох об'єктів (фізичних тіл, їх стану, процесів, в яких вони беруть участь), але в кількісному відношенні різної для різних об'єктів.

Одиниця фізичної величини – це значення цієї величини, яке за визначенням вважається рівним 1.

Операція, за допомогою якої стає відомим числове значення тієї чи іншої величини для певного об'єкта, являє собою вимір цієї величини.

Щоб вимір фізичної величини мав однозначний характер, слід забезпечити виконання наступної вимоги: відношення двох однорідних (однойменних) величин не повинно залежати від того, за допомогою якої одиниці вони виміряні. Більшість фізичних величин задовольняє цій умові, яку зазвичай називають умовою абсолютного значення відносної кількості. Ця умова може бути дотримана при наявності принципової можливості такого кількісного порівняння двох однорідних величин, в результаті якого виходить число, що виражає відношення цих величин.

Однак іноді потрібно виміряти властивості, які не можуть бути охарактеризовані величиною, що відповідає даній вимозі. У цьому випадку вводять деякі умовні величини і шкали. Існувало та існує велика кількість різноманітних одиниць величин, що створює серйозні труднощі насамперед у міжнародних торговельних відносинах і обміні результатами наукових досліджень. Виділяють основні та похідні одиниці.

Основні одиниці незалежні одна від іншої. З їх допомогою встановлюються зв'язки з іншими фізичними величинами на основі закономірностей між ними. Таким чином, із декількох умовно обраних основних одиниць будуються похідні одиниці.

В метрології існує два види рівнянь, що зв'язують між собою різні фізичні величини:

- рівняння зв'язку між величинами;
- рівняння зв'язку між числовими значеннями.

Перші представляють співвідношення між величинами в загальному вигляді, незалежно від одиниць; другі можуть мати різний вигляд в залежності від обраних величин одиниць, що входять в рівняння.

При цьому в рівняннях зв'язку між числовими значеннями часто є коефіцієнти пропорційності. Саме для встановлення одиниць фізичних величин використовуються рівняння зв'язку між числовими значеннями.

Перший вид рівнянь має вигляд:

$$X = f(X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (5.1)$$

де  $X_1, X_2, \dots, X_m$  – величини, які пов'язані з величиною  $X$ , що вимірюється (розраховується) деякими рівняннями зв'язку.

Рівняння (5.1), якщо  $X_1, X_2, \dots, X_m$  представляють собою основні величини, використовують для утворення похідних величин. Наприклад, сила  $F$  визначається рівнянням  $F = ma = mlT^{-2}$ , де  $m$  – маса тіла, до якого прикладена сила;  $a$  – прискорення, що отримує тіло при дії на нього даної сили;  $l$  – довжина. Оскільки довжина, маса і час у всіх системах являють собою основні величини, то сила є похідною величиною.

Другий вид рівнянь – рівняння зв'язку між числовими значеннями, які використовуються для встановлення одиниць вимірювання. Величини, що входять до рівняння (5.1), можна представити відповідно до основного рівняння вимірювання наступним чином:

$$X = q[X]; X_1 = q_1[X_1]; X_2 = q_2[X_2]; \dots; X_m = q_m[X_m],$$

де  $q, q_1, q_2, \dots, q_m$  – числові значення;  $[X], [X_1], [X_2], [X_m]$  – одиниці величин.

## 5.2. Система одиниць фізичних величин

**Система одиниць** - це сукупність основних і похідних одиниць, що відносяться до деякої системи величин, побудована відповідно до прийнятих принципів.

Історично першою системою одиниць фізичних величин була прийнята в 1791 р. Національними зборами Франції метрична

система заходів. Вона не була ще системою одиниць в сучасному розумінні, а включала в себе одиниці довжин, площі, об'єму, місткості і ваги, в основу яких були покладені дві одиниці: метр і кілограм.

У 1832 р. німецький математик К.Ф. Гаус запропонував методику побудови системи одиниць, як сукупності основних і похідних. За основу були прийняті три незалежні одна від одної одиниці: міліметр – одиниця довжини; міліграм – одиниця маси; секунда – одиниця часу. Всі інші одиниці можна було визначити за допомогою цих трьох. Таку систему одиниць, пов'язаних певним чином з трьома основними одиницями довжини, маси і часу, Гаус назвав абсолютною системою.

Надалі з розвитком науки і техніки виникла ціла низка систем одиниць фізичних величин, побудованих за принципом, запропонованим Гаусом, що базуються на метричній системі мір, але відрізняються одна від одної основними одиницями.

**Система СГС.** Система одиниць фізичних величин СГС, в якій основними одиницями є сантиметр як одиниця довжини, грам як одиниця маси і секунда як одиниця часу, була прийнята в 1881 р. Першим міжнародним конгресом електриків. Конгрес ґрунтувався на принципах, що запропонував Гаус, і ввів найменування для двох найважливіших похідних одиниць: Діна – для вимірювання сили і ерг – роботи. Для вимірювання потужності в системі СГС застосовується ерг в секунду, кінетичної в'язкості – стокс, динамічної – пуаз.

Тиск в системі СГС вимірюють в динах на квадратний сантиметр. Ця одиниця в минулому називалася бар, проте в зв'язку з перейменуванням в бар одиниці тиску, що дорівнює  $10^5$  Н/м<sup>2</sup>, для одиниць тиску СГС іноді застосовують найменування барій і одночасно мікробар (так як вона дорівнює одній мільйонній нового бару).

В області механічних вимірювань система СГС ґрунтується на трьох основних одиницях, з яких інші утворюються як похідні.

Виникають труднощі із використання системи СГС для електричних і магнітних вимірювань. Історично склалося так, що до теперішнього часу існує сім видів системи СГС для електричних і магнітних величин, з яких найбільш поширені три:

1) система СГСЕ, побудована на трьох основних одиницях – сантиметр, грам, секунда; діелектрична проникність вакууму

прийнята як безрозмірна величина. Ця система називається також абсолютною електростатичною системою одиниць;

2) система СГСМ, основні одиниці якої такі ж, як і системи СГСЕ – сантиметр, грам, секунда, а магнітна проникність вакууму прийнята як безрозмірна величина. Ця система називається також абсолютною електромагнітною системою одиниць;

3) система СГС, названа також симетричною або системою Гауса. У ній електричні одиниці збігаються з електричними одиницями СГСЕ, а магнітні – з магнітними (СГСМ).

**Система МКГСС.** В період встановлення метричної системи заходів, в кінці XVIII ст., кілограм був прийнятий як одиниця ваги.

Застосування кілограма як одиниці ваги, а в подальшому як одиниці сили взагалі, призвело в кінці XIX ст. до формування системи одиниць фізичних величин з трьома основними одиницями: метр – одиниця довжини, кілограм сила – одиниця сили і секунда – одиниця часу (система МКГС). Кілограм сила (кгс) – це сила, яка надає масі, що відповідає масі міжнародного прототипу кілограму, прискорення  $9,80665 \text{ м/с}^2$  (нормальне прискорення вільного падіння).

Ця система одиниць широко поширилася в механіці і техніці, отримавши неофіційну назву «технічна». Однією з причин поширення системи МКГСС стало зручність вираження сили в одиницях ваги і зручний розмір основної одиниці сили – кілограм сила.

За одиницю маси в системі МКГСС прийнята маса тіла, що одержує прискорення  $1 \text{ м/с}^2$  під дією прикладеної сили 1 кгс. Ця одиниця (кілограм сила секунда в квадраті на метр) іноді називається технічною одиницею маси або інертною, хоча обидві ці найменування не встановлені ні в одній з рекомендацій на одиниці фізичних величин. Одиниця маси МКГСС –  $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м} \approx 9,81 \text{ кг}$  – одиниці маси системи СІ. Широко застосовувалися в техніці одиниці роботи і енергії МКГСС – кілограм сила метр (кгс·м) і одиниця потужності – кілограм сила метр в секунду (кгс·м/с).

**Система МТС.** В системі одиниць МТС основними одиницями є: одиниця довжини – метр, одиниця маси – тонна і одиниця часу – секунда.

Ця система одиниць вперше була встановлена в 1919 році у Франції, де була прийнята в законоположенні про одиниці вимірювання. У 1927-1933 рр. система МТС була рекомендована радянськими стандартами на механічні одиниці. Вибір тонни в якості

основної одиниці маси здавалася вдалим, так як досягалося відповідність між одиницями довжини і об'єму, з одного боку, і одиницею маси – з іншого (з точністю, достатньою для більшості технічних розрахунків, 1 т відповідає масі  $1 \text{ м}^3$  води). Крім того, одиниця роботи і енергії в цій системі (кілоджоуль) і одиниця потужності (кіловат) збігалися з відповідними кратними практичними електричними одиницями.

В системі МТС одиницею сили служить стен (сн), що дорівнює силі, яка надає масі в 1 т прискорення  $1 \text{ м/с}^2$ , одиницею тиску – п'єза –  $1 \text{ сн/м}^2$ .

**Абсолютна практична система електричних одиниць.** Ця система була запропонована в 1881 р. першим Міжнародним конгресом електриків, як похідна від системи СГСМ і призначалася для практичних вимірювань в зв'язку з тим, що електричні та магнітні одиниці системи СГСМ виявилися незручними для практики (одні занадто великі, інші занадто малі). У числі перших практичних електричних одиниць були прийняті:

- практична одиниця електричного опору, що дорівнює  $10^9$  одиницям опору СГСМ, яка отримала згодом назву «ом»;
- практична одиниця електрорушійної сили, яка дорівнює  $10^8$  одиницям електрорушійної сили СГСМ, названа «вольт»;
- практична одиниця сили електричного струму, що дорівнює  $10^1$  електромагнітним одиницям сили струму СГСМ, названа «Ампер»;
- практична одиниця електричної ємності, рівна  $10^9$  одиницям електричної ємності СГСМ, названа «фарад».

Другий Міжнародний конгрес електриків в 1889 р. включив в список практичних електричних одиниць ще три:

- 1) джоуль як одиницю енергії, що дорівнює  $10^7$  одиницям енергії СГСМ;
- 2) ват, рівний  $10^7$  одиниць потужності СГСМ;
- 3) квадрант (згодом це найменування замінено на «Генрі») як одиниця індуктивності, рівна  $10^9$  одиницям індуктивності СГСМ.

Надалі рішеннями МЕК і ГКМВ були встановлені інші практичні електричні і магнітні одиниці (наприклад, вебер, сіменс, тесла).

**Міжнародні електричні одиниці**, що відрізнялися від одиниць абсолютної практичної системи електричних одиниць тим, що вони базувалися не на теоретичному визначенні одиниць, а на їх

стандартах, були прийняті в 1893 р. в Чикаго на Третьому міжнародному конгресі електриків.

Конгрес встановив три основні міжнародні електричні одиниці: міжнародний ом, для визначення якого використовували ртутний еталон, міжнародний ампер, який визначається за допомогою срібного вольтметра, і міжнародний вольт, який визначається за елементом Кларка. Решта електричних одиниць (міжнародний кулон, фарад і ін.) були визначені як похідні від них.

Завершенням роботи із встановлення міжнародних електричних одиниць і чіткого розмежування абсолютних практичних одиниць і міжнародних з'явилося рішення Міжнародної Лондонської конференції електриків в 1908 р. В якості одиниць, які з достатнім наближенням відтворюють електричні одиниці при практичних вимірах і для законодавчих цілей, конференція рекомендувала прийняти міжнародний ом, міжнародний ампер, міжнародний вольт і міжнародний ват.

**Система МКСА.** Основи цієї системи були запропоновані в 1901 р. італійським вченим Дж. Джорджі, тому система має і другу назву, прийняту в 1958 р. – «система Джорджі», але не отримала, однак, поширення. Основними одиницями системи МКСА є метр, кілограм, секунда і Ампер. В системі МКСА сила вимірюється в Ньютонах, робота і енергія – Джоулях, потужність – Ват.

В системі МКСА механічні одиниці повністю узгоджені з одиницями абсолютної практичної системи електричних і магнітних одиниць – Ампер, Вольт, Ом, Кулон та ін. Система МКСА є частиною Міжнародної системи одиниць СІ.

**Позасистемні одиниці.** Незважаючи на певні переваги, які дає застосування одиниць, що визначається тією чи іншою системою, до теперішнього часу широко поширені різноманітні одиниці, що не вкладаються ні в одну з систем. Число так званих позасистемних одиниць досить велике, і від багатьох з них не можна відмовитися через зручності їх застосування в певних областях, інші з них збереглися в силу історичних традицій.

Так, історично виникла одиниця тиску – атмосфера, що дорівнює тиску, силою 1 кгс на площу 1 см<sup>2</sup>, так як атмосфера близька за величиною до середнього тиску атмосферного повітря на рівні моря. Позасистемні одиниці підрозділяються на три групи.

В першу групу найважливіших позасистемних одиниць, що мають широке застосування, входять: одиниці довжини – ангстрем,

світловий рік, парсек; площі – ар, гектар; об'єму – літр; маси – карат; тиску – атмосфера, бар, міліметр ртутного стовпа, міліметр водяного стовпа; кількості теплоти – калорія; електричної енергії – електронівольт, кіловатгодини; акустичних величин – децибел, октава; іонізуючих випромінювань – рентген, радій, кюрі.

Другу групу позасистемних одиниць утворюють одиниці, що походять від основних одиниць системи не за десятковим принципом. До них в першу чергу відносяться такі поширені одиниці часу, як хвилина і година.

Нарешті, третю групу утворюють одиниці, не пов'язані з будь-якою системою. Сюди входять всі застарілі національні одиниці, такі як старі російські (лікоть, сажень, аршин, верста), англійські (фунт, фут, ярд, миля) і т.п.

### 5.3. Відносні і логарифмічні величини і одиниці

В науці і техніці широко поширені відносні і логарифмічні величини і їх одиниці, якими характеризують склад і властивості матеріалів, відношення енергетичних і силових величин, наприклад, відношене подовження, відносна щільність, відносна діелектрична і магнітна проникності, посилення і ослаблення потужностей і т.п.

Відносна величина являє собою безрозмірне відношення фізичної величини до однойменної фізичної величиною, прийнятої за початкову. У число відносних величин входять і відносні атомні, або молекулярні маси хімічних елементів, які виражаються відносно однієї дванадцятої ( $1/12$ ) маси атома вуглецю 12.

Відносні величини можуть виражатися в безрозмірних одиницях (коли відношення двох однойменних величин дорівнює 1), у відсотках (коли відношення дорівнює  $10^{-2}$ ), проміле (відношення дорівнює  $10^{-3}$ ) або в мільйонних частках (відношення дорівнює  $10^{-6}$ ).

Логарифмічна величина являє собою логарифм (десятковий, натуральний або при основі 2) безрозмірного відношення двох однойменних фізичних величин. Такі величини застосовують для вираження рівня звукового тиску, посилення, ослаблення, вираження частотного інтервалу і т.п.

Одиницею логарифмічної величини є бел ( $B$ ), який визначається співвідношенням  $1B = \lg P_2/P_1$  при  $P_2 = 10P_1$ , де  $P_2$  і  $P_1$  – однойменні енергетичні величини (потужності, енергії, щільності енергії і т.п.). Частковою одиницею від бела є децибел (дБ), що дорівнює 0,1 Б.

Так, в разі характеристики посилення електричних потужностей при відношенні отриманої потужності  $P_2$  до початкової  $P_1$ , що дорівнює 10, логарифмічна величина посилення становитиме 1 Б або 10 дБ, при збільшенні або зменшенні потужності в 1 000 разів логарифмічна величина посилення складе 3 Б або 30 дБ і т. д.

#### **5.4. Міжнародна система одиниць фізичних величин**

У 1950...1960-х рр. все частіше виявлялося прагнення багатьох країн до створення єдиної універсальної системи одиниць, яка могла б стати міжнародною. У числі загальних вимог до основних і похідних одиниць висувалася вимога когерентності такої системи одиниць.

Справа в тому, що одночасне застосування різних систем одиниць в окремих областях призвело, по суті справи, до засмічення багатьох розрахункових формул числовими коефіцієнтами, які не дорівнювали одиниці, що сильно ускладнило розрахунки. Наприклад, в техніці стало звичайним застосування для вимірювання маси одиниці системи МКС – кілограма, а для вимірювання сили – одиниці системи МКГСС – кілограм сила. Це являлося зручним з тієї точки зору, що числові значення маси (в кг) і ваги (в кгс), тобто сили тяжіння до Землі, виявилися рівними (з точністю, достатньою для більшості практичних випадків). Однак наслідком прирівнювання значень різнорідних за змістом величин була поява в багатьох формулах числового коефіцієнта 9,81 та до зміщення поняття маси і ваги, яке породило багато непорозумінь і помилок.

Таке різноманіття одиниць та пов'язані з цим незручності породило ідею створення універсальної системи фізичних величин всіх галузей науки і техніки, яка могла б замінити всі існуючі системи та окремі позасистемні одиниці. Такою системою стала Міжнародна система одиниць СІ.

У 1954 р. на Х ГКМВ було прийнято шість основних одиниць для міжнародних відносин: метр, кілограм, секунда, ампер, градус Кельвіна, свіча.

У 1960 р. XI ГКМВ затвердила Міжнародну систему одиниць, що позначається скорочено SI (початкові літери французького найменування System International d'Unites), в українській транскрипції – СІ.

В результаті деяких видозмін, прийнятих ГКМВ в 1967, 1971, 1979 рр., сучасна система включає в себе сім основних одиниць (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. – Основні одиниці системи СІ

Величина	Одиниця виміру	Позначення	
		українське	міжнародне
Довжина	Метр	м	m
Маса	Кілограм	кг	kg
Час	Секунда	с	s
Сила електричного струму	Ампер	А	A
Термодинамічна температура	Кельвін	К	K
Кількість речовини	моль	моль	mol
Сила світла	кандела	кд	cd

Універсальність СІ забезпечується тим, що сім основних одиниць, покладених в її основу, є одиницями фізичних величин, які відображають основні властивості матеріального світу, і дають можливість утворювати похідні одиниці для будь-яких фізичних величин у всіх галузях науки і техніки. Цій же меті служать і додаткові одиниці, необхідні для утворення похідних одиниць, що залежать від плоского та тілесного кутів.

Переваги системи СІ перед іншими системами одиниць полягають у тому, що:

- вона є універсальною, охоплюючи всі сфери науки, техніки, виробництва;

- побудована для деякої системи величин, що дозволяють уявити явища в формі математичних рівнянь; деякі з фізичних величин прийняті основними і через них виражені всі інші – похідні фізичні величини. Для основних величин встановлені одиниці, розмір яких узгоджений на міжнародному рівні, а для інших величин утворюються похідні одиниці;

- коефіцієнти пропорційності у фізичних рівняннях, що визначають одиниці похідних величин, рівні безрозмірній одиниці. Побудована таким чином система одиниць, та тих одиниць що

входять до неї називаються когерентними (пов'язаними, узгодженими);

– в ній усунена множинність одиниць (уніфікація одиниць для всіх видів вимірювання) для вираження величин одне одного і того ж ряду. Наприклад, замість великого числа одиниць тиску, що застосовувалися на практиці, одиницею тиску в системі СІ прийнята тільки одна одиниця – Паскаль. В області теплових вимірювань виконаний перехід від роздільного вимірювання роботи і кількості теплоти в джоулях і калоріях до єдиного вимірювання в Джоулях;

– встановлення для кожної фізичної величини своєї одиниці дозволило розмежувати поняття маси (кг) і ваги (Н). Поняття маси слід використовувати в усіх випадках, коли мається на увазі властивість тіла або речовини, що характеризують його інертність і здатність створювати гравітаційні поля, а поняття ваги необхідно використовувати у випадках, коли мається на увазі сила, що виникає внаслідок взаємодії з гравітаційним полем;

– визначення основних одиниць СІ можливо з високим ступенем точності, що в кінцевому рахунку не тільки дозволяє підвищити точність вимірювань, але і забезпечити їх єдність. Це досягається шляхом «матеріалізації» одиниць у вигляді еталонів і передачі від них вимірювання за допомогою комплексу зразкових засобів вимірювань.

Міжнародна система одиниць завдяки своїм перевагам отримала широке поширення в світі. Так, всі країни перейшли на одиниці системи СІ. Країни, де раніше застосовувалася англійська система мір (Великобританія, Австралія, Канада, США та ін.), також впроваджують одиниці системи СІ.

## **5.5. Визначення змісту одиниць системи СІ**

**Основні одиниці.** Відповідно до рішень ГКМВ, прийнятими в різні роки, діють наступні визначення основних одиниць системи СІ.

*Одиниця довжини* – метр це довжина шляху, що проходить світло у вакуумі за  $1/299792458$  частки секунди (рішення XVII ГКМВ, 1983 р.).

*Одиниця маси* – кілограм це маса, рівна масі міжнародного прототипу кілограма (рішення I ГКМВ, 1889 р.).

*Одиниця часу* – секунда це тривалість  $9\,192\,631\,770$  періодів випромінювання, відповідного переходу між двома надтонкими

рівнями основного стану атома цезію 133, який не збуджений зовнішніми полями (рішення XIII ГКМВ, 1967 р.).

*Одиниця сили електричного струму* – ампер це сила незмінного струму, який при проходженні по двома паралельними провідниками нескінченної довжини і мізерно малого кругового перерізу, що розташовані на відстані 1 м один від іншого у вакуумі, створює між ними силу, яка дорівнює  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на кожен метр довжини (схвалено IX ГКМВ в 1948 р.).

*Одиниця термодинамічної температури* – Кельвін (до 1967 р. мав найменування «градус Кельвіна») це  $1/273,16$  частина термодинамічної температури потрійної точки води. Допускається вираз термодинамічної температури в градусах Цельсія (резолюція XIII ГКМВ, 1967 р.).

Одиниця кількості речовини – моль це кількість речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки атомів міститься в нукліді вуглецю 12 масою 0,012 кг (резолюція XIV ГКМВ, 1971 р.).

*Одиниця сили світла* – кандела це сила світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку становить  $1/283$  Вт/ср (ср – стерадіан) (резолюція XVI ГКМВ, 1979 р.).

**Додаткові одиниці.** Такі одиниці мають специфічне застосування і необхідні для утворення похідних одиниць, пов'язаних з кутовими величинами. Тому ці одиниці не можуть бути віднесені ні до основних, ні до похідних, так як вони не залежать від вибору основних одиниць (за винятком одиниці сили світла).

Міжнародна система одиниць включає в себе дві додаткові одиниці – для вимірювання плоского і тілесного кутів.

Одиниця плоского кута – радіан (рад, rad) це кут між двома радіусами кола, дуга між якими за довжиною дорівнює радіусу. У градусній мірі кут  $\alpha$  дорівнює  $57^{\circ}1744,8''$ .

Одиниця тілесного кута – стерадіан (ср, sr) це тілесний кут, вершина якого розташована в центрі сфери і який «відкладає» на поверхні сфери площу, рівну площі квадрата зі стороною, рівною за довжиною радіусу сфери.

Як радіан, так і стерадіан розмірності не мають. Безрозмірність цих одиниць означає те, що при визначальному рівнянні  $\alpha = l/r$ ,

прийнята, наприклад, одиниця плоского кута, виявляється однією і тією ж незалежно від розміру основних одиниць (довжини).

На практиці вимірювання плоских кутів допускається проводити в кутових градусах (хвилинах, секундах). Саме в цих одиницях проградуйовані шкали більшості кутомірних ЗВТ.

**Похідні одиниці.** Такі одиниці утворюються на підставі законів, що встановлюють зв'язок між фізичними величинами, або прийнятого визначення фізичної величини.

Розглянемо приклади декількох фізичних величин, що широко застосовуються у техніці.

*Сила.* Загальне рівняння сили записується, як:

$$F = m \cdot a,$$

де  $m$  – маса тіла, кг;  $a$  – прискорення,  $\text{м/с}^2$ .

Одиниця сили – ньютон (Н, N) це сила, що надає тілу масою 1 кг прискорення  $1 \text{ м/с}^2$  у напрямку дії сили.

Розмірність одиниці сили:

$$F = [m] \cdot [a] = LMT^{-2}.$$

В системі СГС одиницею сили є дина:  $1 \text{ дина} = 1 \text{ г} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^{-2}$ ,  $1 \text{ Н} = 105 \text{ дин}$ .

З поняттям сили і її одиницею вимірювання пов'язані поняття сили тяжіння і ваги. Сила тяжіння є рівнодіюча сили гравітаційної сили притягнення тіла до Землі і відцентрової сили інерції, яка обумовлена обертанням Землі. Вага тіла – сила, з якою тіло внаслідок тяжіння до Землі діє на опору, або підвіс, що утримують його від вільного падіння. Якщо тіло і опора нерухомі відносно Землі, то вага тіла дорівнює його силі тяжіння.

Загальне рівняння для сили тяжіння (ваги):

$$G = m \cdot g, \tag{5.2}$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Звідси випливає, що одиницею сили тяжіння (ваги) є Ньютон.

Разом з тим рівняння (5.2) дозволяє пояснити різницю між поняттями «маса» і «вага тіла», що накладає відповідні умови на вимір цих величин. Якщо маса тіла вимірюється за допомогою терезів, то вага – за допомогою динамометра.

Прискорення вільного падіння в першому наближенні залежить від географічної широти місця і його висоти над рівнем моря. Нормальне прискорення вільного падіння над широтою  $45^\circ$  (на рівні моря)  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ , на екваторі  $g = 9,780 \text{ м/с}^2$ , а на полюсі  $g = 9,8324 \text{ м/с}^2$ . Таким чином, на екваторі тіло масою  $m$  важить менше, а

на полюсі воно важче. Наприклад, людина масою в 80 кг на екваторі має вагу, рівний 782,4 Н, а перемістившись на один з полюсів Землі близько 786,5 Н.

Зауважимо, що в геофізиці прискорення вільного падіння зазвичай виражають позасистемної одиницею – мгал (мГал), на честь Г. Галілея. При цьому  $1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2 = 10^3 \text{ мГал}$ .

**Тиск.** Це фізична величина, яка чисельно дорівнює силі  $F$ , що діє на одиницю площі поверхні тіла та спрямована перпендикулярно до поверхні площини  $S$ .

$$p = \frac{F}{S},$$

де  $p$  – тиск в паскалях (Па, Pa), якщо сила  $F$  виражена в Ньютонах;  $S$  – площа,  $\text{м}^2$ .

У цих же одиницях вимірюється нормальне напруження  $\sigma = \frac{F}{S}$ , що надається силою 1 Н, яка рівномірно розподілена на поверхні площею  $1 \text{ м}^2$ , за нормалью до неї.

Розмірність тиску (нормального напруження):

$$p = L^{-1}MT^{-2}.$$

При вимірюванні тиску в свій час застосовувалося велике число одиниць. В даний час застосовуються (тимчасово) наступні позасистемні одиниці, як міліметр ртутного стовпа (мм рт. ст.), бар (bar). Паскаль має наступне співвідношення з цими одиницями:  $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ бар}$  дорівнює силі  $10^6$  дин, що діє на площу в  $1 \text{ см}^2$ , та еквівалентно тиску ртутного стовпа висотою в  $750,08 \text{ мм}$  на рівні моря для широти  $45^\circ$  (при цьому  $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$ ). В метеорології застосовується частково одиниця – мілібар ( $1 \text{ мбар} = 100 \text{ Па}$ ). Застарілими одиницями, що не рекомендовані до застосування, але зустрічаються в науково-технічній літературі, є: атмосфера нормальна, або фізична (атм, Atm), що дорівнює тиску ртутного стовпа висотою  $750 \text{ мм}$  при температурі  $0^\circ\text{C}$  і при нормальному прискоренні вільного падіння  $9,80665 \text{ м/с}^2$ . У 1954 р. ця одиниця була рекомендована Х ГКМВ до застосування у фізиці і метеорології ( $1 \text{ атм} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ); атмосфера технічна (ат, at), або кілограм-сила на квадратний сантиметр ( $\text{кгс/см}^2$ ). Дорівнює тиску, що надається силою в  $1 \text{ кгс}$ , яка рівномірно розподілена на перпендикулярній до неї поверхні площею  $1 \text{ см}^2$  ( $1 \text{ ат} =$

$9,80665 \cdot 10^4$  Па). При наближених вимірах одну атмосферу (1 атм) можна замінити одним баром (1 бар = 0,98692 атм).

У зарубіжній літературі іноді при вимірах малих тисків використовується одиниця, розмір якої збігається з 1 мм рт. ст., а іменується вона «торр» (torr) на ім'я італійського вченого Е. Торрічелі.

**Робота, енергія.** Для роботи  $A$  сили, що переміщує в напрямку її дії деяке тіло на довжину  $l$ , загальне рівняння має вигляд:

$$A = F \cdot l.$$

Одиниця роботи – Джоуль (Дж, J) це робота сили, величина якої дорівнює 1 Н, при переміщенні нею точки прикладання на відстань 1 м у напрямку її дії.

Розмірність роботи:

$$A = [F] \cdot [l] = L^2 MT^{-2}.$$

Енергія є загальною мірою різних процесів і видів взаємодії. При цьому всі форми руху перетворюються одна в одну в чітко певних кількостях. Енергія може бути механічної, теплової, хімічної, електромагнітної, ядерної, гравітаційною та іншою. В теорії відносності встановлено зв'язок між енергією  $E$  і масою  $m$ :

$$E = m \cdot c^2,$$

де  $c$  – швидкість світла у вакуумі, м/с.

Розмірність енергії:

$$E = [m] \cdot [c]^2 = L^2 MT^{-2}.$$

Таким чином, робота і енергія мають спільну розмірність і вимірюються в Джоулях.

У фізиці та атомній енергетиці до останніх років застосовувалися одиниці енергії: ерг, що дорівнює  $10^7$  Дж; електрон-вольт (1 еВ =  $1,60219 \cdot 10^{-19}$  Дж). Іноді робота і енергія виражається за допомогою позасистемної одиниці, що відповідає кількості теплоти, калорія. Одна міжнародна калорія дорівнює 4,1868 Дж. Застосовується також термохімічна калорія, що дорівнює 4,1840 Дж.

**Потужність.** Вона являє собою роботу, що виконана за певний проміжок часу:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Одиниця потужності – ват (Вт, W) це потужність, при якій за проміжок часу в 1 с виконується робота в 1 Дж. Розмірність потужності:

$$P = \frac{[A]}{[t]} = L^2NT^{-3}.$$

У ряді випадків користуються не рекомендованою одиницею потужності «кінська сила» (к. с.), Причому 1 к. с. = 735,499 Вт.

**Кратні і часткові одиниці.** Для утворення десяткових кратних (великих) одиниць і часткових (менших) одиниць застосовують одиниці фізичних величин, наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. – Кратні та часткові одиниці системи СІ

	Множник	Поставка	Позначення	
			українське	міжнародне
<b>Кратні</b>	$10^{18}$	Екса	Е	<i>E</i>
	$10^{15}$	Пета	П	<i>P</i>
	$10^{12}$	Тера	Т	<i>T</i>
	$10^9$	Гіга	Г	<i>G</i>
	$10^6$	Мега	М	<i>M</i>
	$10^3$	Кіло	к	<i>k</i>
	$10^2$	Гекто	г	<i>h</i>
	$10^1$	Дека	да	<i>da</i>
<b>Часткові</b>	$10^{-1}$	Деци	д	<i>d</i>
	$10^{-2}$	Сант	с	<i>c</i>
	$10^{-3}$	Мілі	м	<i>m</i>
	$10^{-6}$	Мікро	мк	$\mu$
	$10^{-9}$	Нано	н	<i>n</i>
	$10^{-12}$	Піко	п	<i>p</i>
	$10^{-15}$	Фемто	ф	<i>f</i>
	$10^{-18}$	Атто	а	<i>a</i>

Наприклад, в радіоелектроніці широко поширені такі кратні і часткові одиниці:

частота –  $10^6$  Гц = 1 МГц;  $10^9$  Гц = 1 ГГц;

напруга –  $10^3$  В = 1 кВ;  $10^{-3}$  В = 1 мВ;  $10^{-6}$  В = 1 мкВ;

тривалість імпульсу –  $10^{-3}$  с = 1 мс;  $10^{-6}$  с = 1 мкс;  $10^{-9}$  с = 1 нс;

$10^{-12}$  с = 1 пс;

ємність –  $10^{-12}$  Ф = 1 пФ;  $10^{-9}$  Ф = 1 нФ;  $10^{-6}$  Ф = 1 мкФ.

## 5.6. Еталонна база України

Національна система забезпечення єдності вимірювань ґрунтується на прийнятій у законодавчому порядку національній системі одиниць вимірювань і державних еталонах. Рівень розвитку еталонної бази визначає темпи науково-технічного прогресу країни, розвиток міжнародної торгівлі та інтеграції України в світову економіку. Статус незалежності України став новим етапом розвитку метрології на національному рівні.

В свій час Україна входила до складу Союзу Радянських Соціалістичних Республік (СРСР), яка до кінця 1980-х років мала найбільшу еталонну базу, що за своїми метрологічними та технічними характеристиками не поступалася, а в багатьох випадках і перевершує кращі зарубіжні аналоги, а саме: 146 державних еталонів, що забезпечували зберігання, відтворення і передачу розміру одиниць 70 фізичних величин та 65 комплексів установок вищої точності (УВТ), які призначені для відтворення одиниць величин в тих областях вимірювання, в яких створення державних еталонів було визначено технічно і економічно недоцільним, але було визнано за необхідне мати початкову міру для країни.

Після розпаду СРСР більшість первинних еталонів, пересувна лабораторія, яка була оснащена квантовими годинниками, засобами передавання еталонних сигналів часу через радіо, телебачення, за допомогою наземних та супутникових радіонавігаційних систем, залишилися у Російській Федерації. У перші роки українські метрологи використовували еталонну базу Росії, що обмежувало й ускладнювало роботу із організації забезпечення єдності вимірювання в країні.

Наприкінці 1992 р. для вирішення цієї проблеми було створено перспективну програму розвитку національної еталонної бази. Програма передбачала у короткий термін розробити еталони, які повинні мати метрологічні характеристики світового рівня. На сучасному етапі розвитку України, перший український еталон був розроблений київським державним підприємством «Укрметртестстандарт» (1995 р.). Протягом 1996 р. в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (м. Харків) створено 16 еталонів із 8 видів вимірювань. Також у програмі створення еталонної бази брав участь Івано-Франківський «Промприлад», який впровадив еталон із вимірювання параметрів потоку, витрати, рівня

та об'єму речовин. Більшість еталонів, які були створені в Україні вперше, потребували фундаментальних досліджень. Залучення львівського державного підприємства «Система» у 2000 р. вплинуло на розробку еталона із вимірювання акустичних величин. Це були первинні еталони із основних видів вимірювань, які допомогли державі зарекомендувати себе на міжнародному рівні.

За незалежні роки в Україні була створена сучасна еталонна база, яка включає 69 державних еталонів майже в усіх областях і видах вимірювання. Вона забезпечує потреби вітчизняних товаровиробників, сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції і її виходу на світовий ринок, що наближує Україну до держав з розвинутою економікою, наукою, до оптимального метрологічного забезпечення.

Впродовж до сьогодні українські метрологічні заклади поповнюються новими державними еталонами та продовжують роботи із удосконалення еталонної бази. У стандартах втілюється все нове, передове, всі досягнення науки, техніки, технології, концентрується науково технічний потенціал країни.

Нарощення потужності еталонної бази, створення запасу точності вимірювання дозволяє метрологам працювати для майбутнього, для відкриттів, для продукції і технології, які відкриють нові горизонти науково-технічному прогресу. Тому вдосконалення еталонної бази країни слід вважати одним із найважливіших пріоритетних завдань, що сприяє міжнародній інтеграції.

### ***Контрольні питання***

- 1. Основні системи одиниць фізичних величин.*
- 2. Перевага системи СІ перед іншими системами одиниць.*
- 3. Основні одиниці системи СІ.*
- 4. Кратні та часткові одиниці системи СІ.*

## 6. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОТРИМАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*Мета розділу: ознайомлення з основними методами і засобами отримання вимірювальної інформації.*

### 6.1. Загальні положення

Розглянемо загальноприйняті в метрології визначення, які відповідають поняттям «вимірювання», «засоби», «принципи», «методи» і «об'єкти вимірювання», «процедура вимірювання», «шкали вимірювання» та ін.

Відповідно до закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" поняття «Вимірювання» сформульовано таким чином.

**Вимірюванням** вважається процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величині.

Певна інформація про об'єкт вимірювання повинна бути відома до проведення досліджень, що є важливим чинником, що обумовлює ефективність вимірювання. Таку інформацію про об'єкт вимірювання називають апіорної. При повній відсутності цієї інформації вимірювання в принципі неможливо, оскільки невідомо, що ж необхідно вимірювати, а отже, не можна вибрати потрібні методи і засоби вимірювання.

Інформація, що отримується в результаті вимірювання (вимір), може міститися в об'єкті вимірювання в двох формах: пасивної і активної.

*Пасивна інформація* являє собою сукупність відомостей, що характеризують об'єкт. До такої інформації, наприклад, відноситься інформація про значення напруги джерела живлення.

Інформація є *активною*, якщо вона має форму енергетичної характеристики будь-якого явища. Подібні енергетичні явища називаються сигналами. Наприклад: електричні, оптичні і акустичні сигнали, які використовуються для передачі інформації.

При визначенні значення фізичної величини результат вимірювання може бути представлений у вигляді аналітичного співвідношення, відомого як основне рівняння метрології:

$$A = k \cdot A_0,$$

де  $A$  – значення фізичної величини, що підлягає вимірюванню;  $k$  – відношення величини, що вимірюється, до величини зразка;  $A_0$  – значення величини, прийнятої за зразок.

Принцип вимірювання являє собою сукупність фізичних принципів, на яких засновані вимірювання, наприклад застосування ефекту Холла для вимірювання потужності або ефекту Джоузефсона для вимірювання електричної напруги.

**Метод вимірювання** – сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципів вимірювань для створення вимірювальної інформації. Це визначення на практиці часто конкретизують, т.б. відносять його тільки до засобів вимірювань, що застосовують, наприклад, метод вимірювання частоти частотоміром, напруги – вольтметром, сили струму – амперметром та т.п.

Поняття «метод вимірювання» слід відрізнити від поняття «методика проведення вимірювання», яка представляє собою сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювання з потрібною точністю.

**Об'єкт вимірювання** – це матеріальний об'єкт, одна чи декілька властивостей якого підлягають вимірюванню.

У технічній літературі і нормативної документації часто зустрічається термін «процедура вимірювання» – це послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обраним методом. Отже, процедура вимірювання складається з вимірювальних операцій.

Достовірність вимірювання визначається ступенем довіри до результату вимірювання і характеризується ймовірністю того, що істинне значення виміру величини знаходиться в зазначених межах. Дану ймовірність називають довірчою.

**Правильність вимірювання** – це метрологічна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість до нуля систематичної похибки вимірювання.

**Збіжність (результатів) вимірювань** – характеристика якості вимірювань, що відображає близькість повторних результатів вимірювань однієї і тієї ж величини в однакових умовах. Відтворюваність вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань однієї і тієї ж величини, які виконані у різних умовах (в різний час, у різних місцях, різними методами і засобами).

Вимірювання як експериментальна процедура визначення значень фізичних величин досить різноманітна. Це пояснюється великою кількістю величин, які підлягають вимірюванню, характером їх зміни в часі, різними вимогами до точності вимірювання та т.і. Отже, вимірювання класифікують за певними ознаками. Однією з таких ознак є спосіб отримання результату вимірювання. Вимірювання поділяються на прямі і непрямі.

*Пряме вимірювання* – вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей. Слід зазначити, що часто під прямими розуміється таке вимірювання, при якому не проводиться проміжних перетворень. Це, наприклад, вимірювання напруги і сили струму електровимірювальними приладами, наприклад вольтметром і амперметром. Прямі вимірювання дуже поширені в практиці вимірювання. Математично прямі вимірювання можна охарактеризувати елементарної формулою:  $A = x$ , де  $A$  – величина, що вимірюється;  $x$  – значення величини, знайдене шляхом її вимірювання, яке називається результатом вимірювання (виміром).

*Непряме вимірювання* – вимірювання, у якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо. Непрямі вимірювання можна охарактеризувати наступною формулою:

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – результати прямих вимірювань величин, що пов'язані відомою функціональною залежністю зі значенням величини  $A$ , яка визначається.

Непрямі вимірювання характерні для практики електрорадіовимірювання, наприклад вимірювання потужності методом амперметра – вольтметра, визначення резонансної частоти коливального контуру за результатами прямих вимірювань ємності та індуктивності контуру і т.і.

## **6.2. Метод вимірювання, класифікація методів вимірювання**

Вимірювання будь-якого виду електричних величин може бути здійснено різними методами в залежності від умов вимірювання, необхідної точності та т.і.

У практиці електричних вимірювань використовуються в основному два методи: метод безпосередньої оцінки і метод порівняння в рівноважному та нерівноважному стані.

*Метод безпосередньої оцінки.* Цей метод дозволяє отримувати результат вимірювання безпосередньо за показаннями приладу, шкала якого градуйована в одиницях величини, що вимірюється. При цьому зразкова міра, як речове відтворення одиниці вимірювання в самому вимірі прямої участі не приймає. Однак під час градуювання приладів, що працюють за методом безпосередньої оцінки, використовуються зразкові міри.

Таким чином, метод безпосередньої оцінки передбачає лише непряме використання зразкових мір. Тому точність вимірювання цим методом відносно невелика.

*Метод порівняння.* Даний метод полягає в тому, що в процесі вимірювання величини її значення порівнюється зі значенням, яке отримано при вимірюванні зразка (еталону), або з тією ж фізичною величиною, або опосередковано зі значенням іншої величини.

Найчастіше використовується метод порівняння в рівноважному стані, коли різниця між величиною, яка вимірюється, і зразковою, або різниця між ефектами, що викликані величиною, яка вимірюється, і зразковою, зводиться до нуля. У цьому випадку метод порівняння зазвичай називають нульовим методом. Типовим прикладом нульового методу є вимірювання маси на вагах. Прикладом нульового методу в електричних вимірах є рівноважні мостові і компенсаційні методи, коли про рівновагу судять за відсутністю струму, або напруги в певній ділянці ланцюга. Так як відсутність струму, або напруги може бути визначено з великою точністю за допомогою вельми чутливих нульових приладів (гальванометрів), то метод порівняння в рівноважному режимі забезпечує значно більшу точність вимірювання, ніж метод безпосередньої оцінки.

Метод порівняння в нерівноважному стані зводиться до отримання результату вимірювання шляхом вимірювання різниці між величиною, що вимірюється, і заздалегідь відомою величиною (мірою) методом безпосередньої оцінки. Якщо ця різниця значно менше, ніж значення величини, яка вимірюється, то результат вимірювання може бути отриманий з більшою точністю, ніж точність безпосереднього вимірювання величини.

Так, якщо різниця  $a = X - A$ , в 10 разів менше, ніж величина  $X$  ( $A$  – відома величина), яка вимірюється, то похибка у вимірюванні  $a$

надасть в 10 разів меншу похибка вимірювання  $X$ . Таким чином, щодо точності вимірювання метод порівняння в нерівноважному стані займає проміжне положення між методом безпосередньої оцінки і нульовим методом. Метод порівняння в нерівноважному стані також називають диференційним методом.

### **6.3. Основні структурні схеми електричних вимірювальних приладів**

Будь-який електричний вимірювальний прилад можна розглядати як ланцюжок перетворювачів, в яких відбувається послідовне перетворення значення величини, що вимірюється, в показання відлікового пристрою.

Тому під приладом слід розуміти всю сукупність цих перетворювачів, незалежно від того, об'єднані вони конструктивно в єдине ціле, або виконані у вигляді декількох окремих блоків.

Структурні схеми сучасних електричних вимірювальних приладів вельми різноманітні і іноді є складними. Ці структурні схеми можна поділити за двома ознаками: роду вимірюваної величини (електричні, або неелектричні); методу вимірювання, що використовується, відповідно до класифікації, яка наведена на рис. 6.1.

#### *6.3.1. Структурні схеми електричних приладів для вимірювання електричних величин*

Найпростішою структурною схемою електричного приладу для вимірювання електричної величини є схема, яка зображена на рис. 6.1, *а*. Цей прилад складається тільки з перетворювача електричної величини  $X_E$ , що вимірюється, в показання відлікового пристрою механізму для вимірювання (МВ).

Кут повороту  $\alpha$  механізму для вимірювання є функцією  $X_E$  і найчастіше відраховується за становищем стрілки, яка закріплена на осі рухомої частини та переміщується над шкалою. Шкала механізму для вимірювання зазвичай виконана безпосередньо в одиницях електричної величини, яка вимірюється.

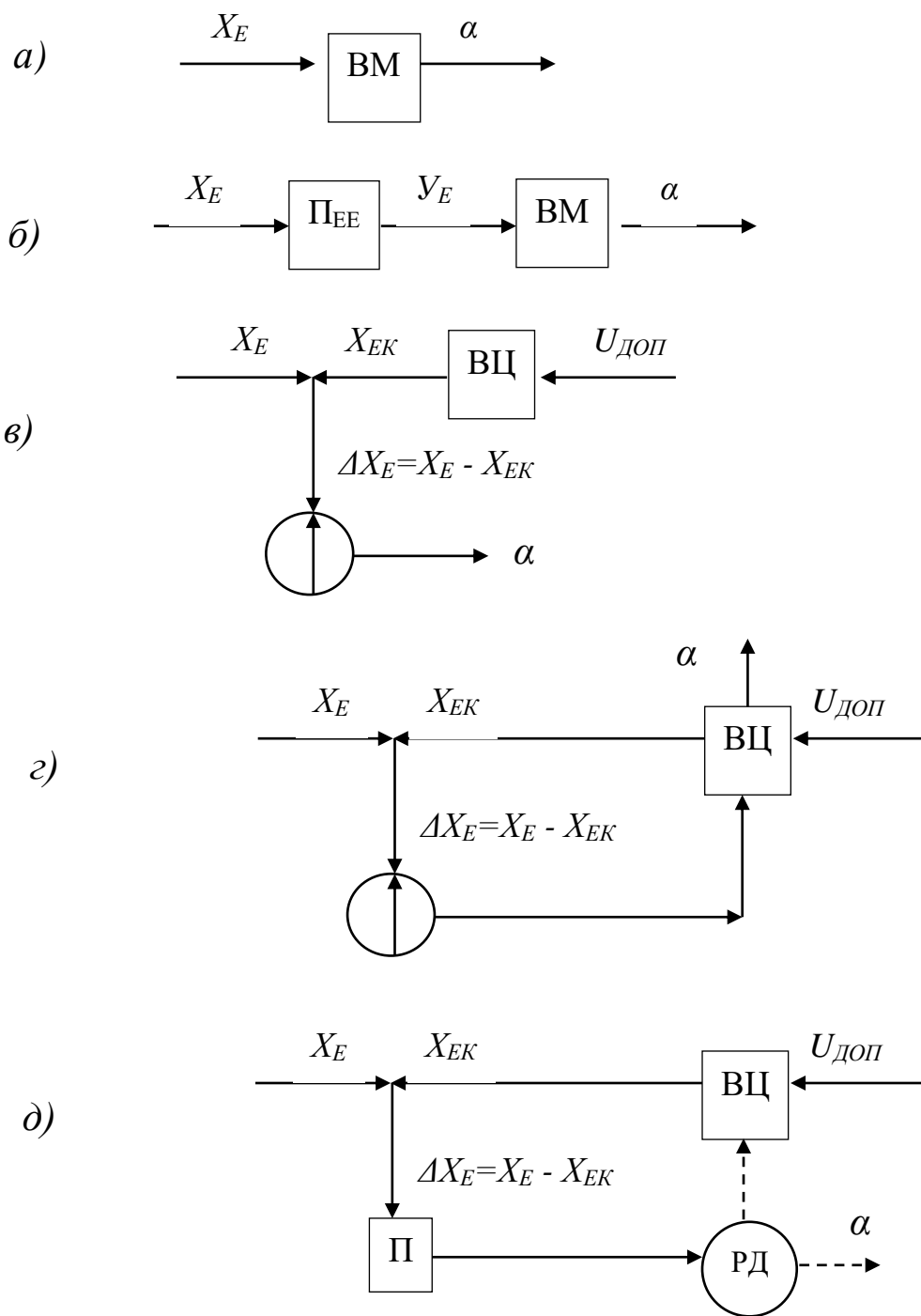


Рисунок. 6.1. – Структурні схеми приладів для вимірювання електричних величин:

- а – тільки з вимірювальним механізмом;
- б – з перетворенням електричної величини в електричну;
- в – за методом порівняння в нерівноважному стані;
- г – за методом порівняння в рівноважному стані;
- д – з автоматичним урівноваженням

Однак в більшості випадків можливості механізму для вимірювання не можуть задовольнити всі умови вимірювання, наприклад, відносно значення границі вимірювання, необхідної потужності, захисту персоналу від високої напруги і т.п. У цьому випадку електрична величина  $X_E$ , що вимірюється, насамперед підлягає перетворенню в перетворювачі  $P_E$  (рис. 6.1, б) в електричну величину  $Y_E$ , яка відповідає параметрам механізму для вимірювання.

До таких перетворювачів електричних величин в електричну відносяться: вимірювальні трансформатори, шунти, розподільники напруги і додаткові резистори, пристрої для перетворення змінного струму в постійний та т.п. Прилади зі структурними схемами (див. рис. 6.1, а і б) працюють тільки за методом безпосередньої оцінки і тому так і називаються приладами безпосередньої оцінки.

Структурна схема приладу, що працює за методом порівняння в нерівноважному стані, представлена на рис. 6.1, в. Електрична величина  $X_E$ , що вимірюється, або ефект, що викликаний нею, компенсується на деякій ділянці ланцюга однорідної з  $X_E$  величиною  $X_{EK}$  постійного значення, що отримується від допоміжного джерела живлення  $U_{ВСП}$  через перетворювач, який зазвичай називають вимірювальним ланцюгом ВЛ.

Якщо величина  $X_{EK}$  компенсує величину  $X_E$ , що вимірюється, в повному обсязі, то різниця  $\Delta X = X_E - X_{EK}$  надходить у вимірювальний прилад безпосередньої оцінки  $\Gamma$  і відлік за цим приладом буде функцією  $\Delta X$ . Прилад для вимірювання безпосередньої оцінки у випадках використання його на виході приладів складної структури будемо надалі називати вимірником.

Якщо ж прилад працює за методом порівняння в рівноважному стані, т.б. за нульовим методом, то його структурну схему можна зобразити згідно рис. 6.1, г. У цьому випадку величина  $X_{EK}$  змінюється до тих пір, поки вона не врівноважить величину  $X_E$ , що вимірюється, та про що буде свідчити відсутність струму і нульове показання покажчика НУ.

Якщо рівноваги немає, то різниця  $\Delta X = X_E - X_{EK}$  буде виявлена за показаннями покажчика НУ. Тоді виконується зміна того, чи іншого параметру у ланцюгу вимірювання до тих пір, поки не настане рівновага, т.б. рівність  $X_E = X_{EK}$ .

Пристроєм для відліку, який градуйований в одиницях, що вимірюється, в цих приладах є та частина вимірювального ланцюга,

параметр якої регулюється для отримання рівноваги. В даній схемі урівноваження виконується вручну шляхом зміни  $U_{ВСП}$ .

У приладі, що працює за схемою, яка показана на рис. 6.1, д, урівноваження виконується автоматично. Різниця сигналів  $\Delta X = X_E - X_{EK}$ , що виникає при відсутності рівноваги, надходить в підсилювач ПС, на виході якого включений реверсивний двигун РД, що механічно пов'язаний з двигуном потенціометра, який є частиною вимірювального ланцюга. Двигун переміщує ричаг потенціометра в тому напрямку і до тих пір, поки не настане рівновага, т.б. рівність  $X_E = X_{EK}$ . Коли  $\Delta X$  стане рівним нулю, то реверсивний двигун зупиниться.

Одночасно реверсивний двигун переміщує стрілку за шкалою. Таким чином, кожному значенню величини, що вимірюється, відповідає певне положення ричагу потенціометру і стрілки на шкалі. Основними ланцюгами для вимірювання у приладах порівняння є компенсаційні і мостові ланцюги.

### *6.3.2. Структурні схеми електричних приладів для вимірювання неелектричних величин*

Ці схеми аналогічні схемам, що розглянуті вище, і відрізняються від них лише наявністю перетворювача для перетворення неелектричної величини, що вимірюється, в електричну.

Структурна схема, зображена на рис. 6.1, б, при вимірюванні неелектричної величини перетворюється в схему, представлену на рис. 6.2, а, де вимірювач Г об'єднує перетворювач  $P_E$  і механізм для вимірювання МВ.

Схема рис. 6.1, в перетворюється в схему рис. 6.2, б, а схема рис. 6.1, г – в схему рис. 6.2, в.

## **6.4. Місткові схеми**

Місткові схеми широко використовуються в приладах для вимірювання параметрів електричних ланцюгів ( $R, C, M, L, f$ ) і різноманітних неелектричних величин, що перетворені в параметри  $R, C, M, L, f$ .

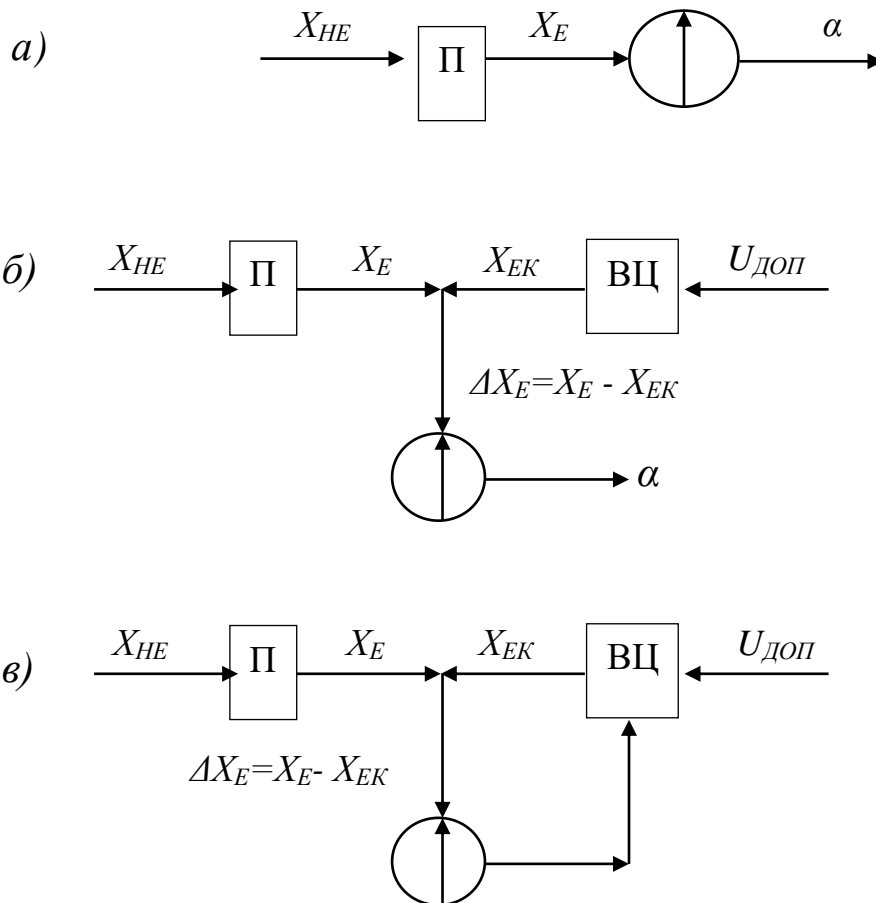


Рисунок. 6.2. – Структурні схеми електричних приладів для вимірювання неелектричних величин:

а – з перетворенням неелектричної величини в електричну і механізмом для вимірювання;

б – з перетворенням неелектричної величини в електричну і порівнянням в нерівноважному стані;

в – з перетворенням неелектричної величини в електричну і порівнянням в рівноважному стані

Основні властивості місткових схем розглянемо на прикладі найпростішої місткової схеми, що працює на постійному струмі (рис. 6.3, а). Резистори  $R_1 \dots R_4$  утворюють так звані плечі містка. Один з них, наприклад  $R_1$ , це опір, що вимірюється ( $R_1 = R_x$ ). В діагональ  $ab$  містка включається вимірювач струму  $\Gamma$  – гальванометр, опір якого дорівнює  $R_\Gamma$ . Джерело живлення з напругою  $U$  підключено до другої діагоналі, т.б. до точок  $c$  і  $d$ .

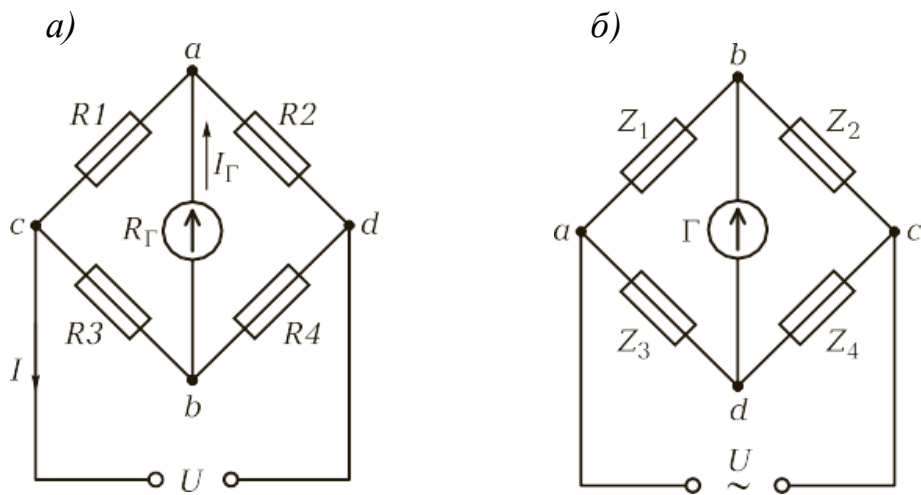


Рисунок 6.3. – Місткові схеми:  
*a* – постійного струму;

*б* – змінного струму

Умовою рівноваги містка, т.б. рівності нулю струму в гальванометрі  $I_\Gamma$ , є рівність:  $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ .

Звідки опір, що вимірюється:

$$R_x = R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}.$$

Місткові схеми працюють як в нерівноважному, так і в урівноваженому станах. У першому випадку міст урівноважується при початковому значенні опору  $R_1 = R_{x0}$  при зміні  $R_x$ , т.б при  $R_x \neq R_{x0}$  міст виходить з рівноваги і у вимірювачі з'являється струм  $I_\Gamma$ . Шкала вимірювача градується безпосередньо в одиницях  $R_x$ . При цьому струм  $I_\Gamma$  залежить не тільки від співвідношення опорів плечей містка, але і від значень напруги живлення  $U$  або струму  $I$ . Тому при коливаннях напруги живлення  $U$  виникає додаткова похибка.

При роботі в рівноважному режимі місток урівноважується при будь-якому значенні  $R_x$  шляхом зміни опору будь-якого з інших плечей. В даний час широко застосовуються автоматичні містки, в яких процес урівноваження здійснюється пристроєм, що стежить за виникненням нерівноваги.

Найчастіше місткові ланцюги на змінному струмі застосовуються в рівноважному стані.

На рис. 6.3, б представлена містковий ланцюг змінного струму. На схемі *a* і *b* – точки моста; *c* і *d* – діагональ містка;  $\Gamma$  – вимірювач.

Припустимо, що всі чотири плеча містка містять як активні, так і реактивні елементи опору. Умова рівноваги містка в цьому випадку буде виражатися рівністю

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3,$$

де  $Z_1 \dots Z_4$  – комплекси повних опорів плечей містка.

### **6.5.Оцінка точності вимірювальних приладів методом безпосередньої оцінки**

Виконати оцінювання точності вимірювального приладу, що працює за методом безпосередньої оцінки, абсолютну або відносну похибку вимірювання не представляється можливим.

Припустимо, наприклад, що внаслідок тертя осі в опорах амперметра на 100 А зі шкалою в 100 поділок виникає похибка на одну поділку, т.б. на 1 А. Оскільки похибка від тертя відноситься до випадкових похибок і її величина і знак не залежать від відхилення рухомої частини, то при вимірюванні цим приладом струму, рівного 90 А, відносна похибка вимірювання складе, %:

$$\frac{\pm 1A}{90A} \cdot 100 = 1,1\% .$$

Якщо цим приладом вимірюється струм, рівний 20 А, то відносна похибка, %,

$$\frac{\pm 1A}{20A} \cdot 100 = 5,0\% .$$

Таким чином, відносна похибка вимірювання для даного приладу може мати різне значення в залежності від відхилення рухомої частини. Тому якість (точність) приладу оцінюють так званою наведеною похибкою  $\gamma_{II}$ , під якою розуміють відношення абсолютної похибки приладу  $\Delta X$  до межі вимірювання приладу  $X_{II}$ :

$$\gamma_{II} = \frac{\Delta X}{X_{II}} .$$

У розглянутому вище прикладі приведена похибка приладу на 100 А складе, %:

$$\frac{1}{100} \cdot 100 = 1,0\% .$$

Звідси необхідно зробити важливий висновок про те, що будь-який прилад безпосередньої оцінки повинен використовуватися лише при відліку показань в останній третині (краще чверті) шкали. Отже,

в разі роботи на початку шкали навіть у найкращого приладу відносна похибка вимірювання може бути високою.

З точки зору оцінки якості приладу в різних умовах його експлуатації похибки приладу діляться на дві категорії, які розглядаються нижче.

**Основна похибка**, обумовлена недосконалістю конструкції і виготовлення приладу. Вона визначається як приведена похибка, що має місце при градуюванні приладу, т.б. при так званих нормальних умовах роботи. Під нормальними умовами (т.б. умовами, що мали місце під час градуювання приладів) роботи зазвичай розуміють: температуру навколишнього середовища  $20^{\circ}\text{C}$  (або ту температуру, яка вказана на шкалі приладу); частоту 50 Гц (або ту частоту, яка відзначена на шкалі приладу); нормальне положення приладу, позначене певним знаком на шкалі; відсутність зовнішніх магнітних і електричних полів і т. п.

Похибки, які в сумі становлять основну похибку приладу, за своєю природою є випадковими. До головної складової основної похибки відноситься похибка від тертя.

Залежно від допустимої основної (наведеної) похибки прилади поділяються на такі класи: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Кожен клас приладу характеризується найбільшою допустимою основною похибкою, величина якої дорівнює номеру класу. Клас приладу позначається на шкалі відповідної цифрою в колі.

**Додаткові похибки**, що виникають в наслідок відступу від нормальних умов. Вони також залежать від параметрів, досконалості конструкції і виготовлення приладів. Додаткові похибки за своєю природою, як правило, є систематичними. Вони також нормуються стандартом. Так, допустима похибка (приведена) від коливання навколишньої температури на кожні  $10^{\circ}\text{C}$  не повинна перевищувати за величиною номер класу.

Вплив зовнішнього магнітного поля нормується наступним чином: дія зовнішнього поля напруженістю 400 А/м (5 Ерстед) не повинна визивати зміни показань приладу, що перевищує  $\pm(0,5\dots 5,0)\%$ , в залежності від категорії захищеності, т.б. від конструктивних заходів захисту від впливу зовнішніх полів.

Додаткова похибка від коливання частоти на  $\pm 10\%$  від 50 Гц, або від частоти, яка вказана на шкалі, не повинна перевищувати величини, що відповідає номеру класу.

## 6.6. Оцінка точності вимірювальних приладів, що працюють за методом порівняння

Розглянемо питання про точність вимірювальних приладів, що працюють за методом порівняння в рівноважному режимі (нульових приладів).

Точність вимірювання компенсаційним методом ЕРС і падіння напруги визначається:

- точністю підгонки опорів робочого ланцюга під їх номінальні значення;
- точністю установки робочого струму;
- чутливістю гальванометру;
- плавністю регулювання рівноваги, т.б. точністю відліку (кількістю значущих знаків).

Підгонка опорів робочого ланцюга під їх номінальні значення може бути виконана з похибкою, що не перевищує  $\pm 0,01\%$ .

Точність установки робочого струму визначається похибкою нормального елемента, похибкою підгонки опорів між робочим ланцюгом і чутливістю гальванометра. Якщо нормальний елемент не перевантажувати струмом, що перевищує 1 мкА, і зберігати при кімнатних температурах, то похибка ЕРС, що виникає в ньому, не перевищуватиме  $\pm 0,01\%$ .

Чим вище чутливість гальванометра, тим краще він буде виявляти відсутність рівноваги і точніше здійсниться вимір  $E_x$ . Чутливість гальванометра не повинна викликати похибка більше, ніж  $0,01\%$ . Для цього необхідно, щоб падіння напруги в гальванометрі при мінімальному відхиленні, яке можна помітити оком, було на чотири порядки менше (в 10 000 разів), ніж напруга, що вимірюється.

Точність вимірювання різних величин компенсаційним методом можна охарактеризувати похибкою, що не перевищує  $\pm(0,02...0,05)\%$ .

Прилади, що використовують містковий ланцюг в рівноважному режимі, характеризуються похибкою вимірювання  $R_x$ , яка визначається точністю підгонки опорів інших трьох плечей моста, чутливістю нульового показчика і точністю відліку. Повторюючи наведені вище міркування стосовно компенсаційних ланцюгів, можна прийти до висновку, що похибка вимірювання рівноважним містком може бути знижена до  $\pm(0,01...0,02)\%$ .

При використанні місткового ланцюгу, що працює в нерівноважному стані, похибка вимірювання  $R_x$  в основному

визначається похибкою вимірювача. Ця обставина обмежує точність нерівноважних містків похибкою, практично не меншою, ніж  $\pm(0,2...0,5)\%$ .

Однак в ряді випадків використання містків ланцюгу в нерівноважному стані дає можливість зменшити додаткові похибки перетворювачів неелектричних величин в електричні. У подібних випадках застосування приладів порівняння в нерівноважному стані вигідніше, ніж використання приладів безпосередньої оцінки.

### **6.7. Засоби вимірювання та їх класифікація**

Засіб вимірювальної техніки – це технічний засіб (або їх комплекс), що використовується при вимірюванні і має нормовані метрологічні характеристики. На відміну від таких технічних засобів, як індикатори, призначених для виявлення фізичних властивостей (компас, лакмусовий папір, освітлювальна електрична лампочка), ЗВТ дозволяють не тільки виявити фізичну величину, а й виміряти її, т.б. зіставити невідомий розмір з відомим. Якщо фізична величина відомого розміру є в наявності, то вона безпосередньо використовується для порівняння (вимір плоского кута транспортиром, маси – за допомогою ваг (терез) з гирями). Якщо ж фізичної величини відомого розміру в наявності немає, то порівнюється реакція (відгук) приладу на вплив вимірюваної величини з проявленою раніше реакцією на вплив тієї ж величини, але відомого розміру (вимір сили струму амперметром). Для полегшення порівняння ще на стадії виготовлення приладу відгук на відомий вплив фіксують на шкалі лічильного пристрою, після чого наносять на шкалу розподілу в кратних і часткових відношеннях. Описана процедура називається градуванням шкали. При вимірі вона дозволяє за положенням покажчика отримувати результат порівнянням безпосередньо за шкалою відношення. Отже, ЗВТ (за винятком деяких заходів – гир, лінійок) в найпростішому випадку виконують дві операції: виявлення фізичної величини; порівняння невідомого розміру з відомим, або порівняння відгуків на вплив відомого і невідомого розмірів.

Іншими відмінними ознаками ЗВТ є, по-перше, «вміння» зберігати (або відтворювати) одиницю фізичної величини; по-друге, незмінність розміру збереженої одиниці. Якщо ж розмір одиниці в процесі вимірювання змінюється більш, ніж встановлено нормами, то

за допомогою такого засобу неможливо отримати результат з необхідною точністю. Звідси випливає, що вимірювати можна тільки тоді, коли технічний засіб, призначений для цієї мети, може зберігати одиницю, досить незмінну за розміром (в часі).

Засоби вимірювання можна класифікувати за двома ознаками: конструктивне виконання; метрологічне призначення.

За конструктивним виконанням ЗВТ поділяють на міри фізичної величини, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні системи (рис. 6.4).

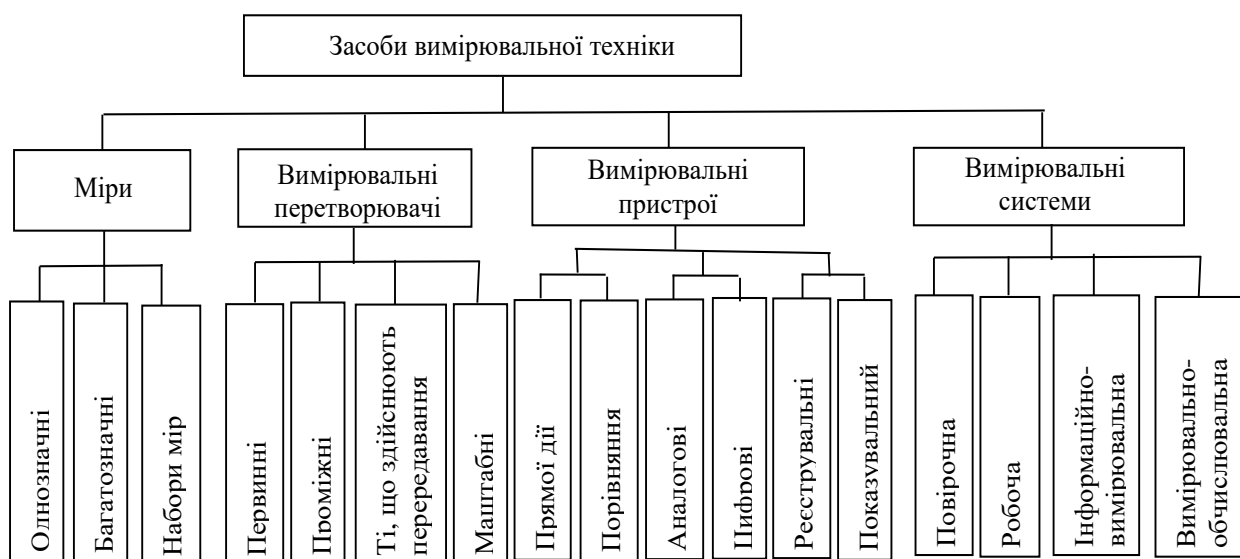


Рисунок. 6.4. – Класифікації засобів вимірювання

**Міра фізичної величини** - це вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини одного або декількох заданих розмірів. Розрізняють міри: однозначні (гиря 1 кг, калібр, конденсатор постійної ємності); багатозначні (масштабна лінійка, конденсатор змінної ємності); набори мір (набір гир, набір калібрів). Набір мір, конструктивно об'єднаних в єдиний пристрій, в якому є пристосування для їх з'єднання в різних комбінаціях, називається магазином мір. Прикладом такого набору може бути магазин електричних опорів, магазин індуктивностей, ємностей та т.п.. Порівняння з мірою виконуються за допомогою спеціальних технічних засобів – компараторів (вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин, наприклад: ваги важелів, вимірювальні містки і т.п.).

До однозначних мір можливо віднести стандартні зразки (СЗ). Існують стандартні зразки складу та стандартні зразки властивостей речовини (матеріалу).

*Стандартний зразок складу* – це стандартний зразок з встановленими значеннями величин, що характеризують вміст певних компонентів в речовині (матеріалі).

*Стандартний зразок властивостей* – це стандартний зразок (СЗ) зі встановленими значеннями величин, що характеризують фізичні, хімічні, біологічні та інші властивості.

Нові СЗ допускаються до використання за умови проходження ними метрологічної атестації. Зазначена процедура – це визнання міри, що узаконює її застосування на підставі дослідження СЗ. Метрологічна атестація проводиться органами метрологічної служби.

Прикладом СЗ складу є СЗ складу вуглецевої сталі певної марки, а прикладом СЗ властивостей – шкала твердості Мооса, яка представляє собою набір 10 мінералів еталонів для визначення величини твердості за умовною шкалою. Кожен наступний мінерал цієї шкали є більш твердим, ніж попередній. Цю шкалу використовують для оцінки відносної твердості скла і кераміки.

Одна з головних функцій СЗ складу і властивостей – контроль методики виконання вимірювання в порядку внутрішнього контролю випробувальних лабораторій і зовнішнього контролю. Наприклад, якщо аналітична лабораторія металургійного підприємства має атестований СЗ вуглецевої сталі конкретної марки, то вона на зазначеному СЗ може перевірити надійність методики якісного і кількісного хімічного аналізу.

Залежно від рівня визнання (затвердження) та сфери застосування розрізняють категорії СЗ – міждержавні, державні, галузеві і СЗ підприємства (організації).

Так, державні та галузеві зразки складу ґрунтів атестовані на вміст макро- і мікроелементів (марганцю, кобальту, цинку, міді, молібдену, бору) та інші характеристики (рН і т.п.). Ці СЗ були атестовані в міжлабораторному експерименті і призначені для градуювання приладів, повірки ЗВТ, контролю правильності аналізу ґрунтів за атестованими в СЗ показниками, атестації СЗ підприємств методом звірення.

*Вимірювальні перетворювачі* – це вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення тобто перетворює вимірю

величини в іншу величину або сигнал вимірювальної інформації, який зручний для обробки, зберігання або подальшого перетворення.

За характером перетворення розрізняють аналогові, цифро-аналогові (ЦАП) і аналого-цифрового (АЦП) перетворювачі. За місцем розташування в вимірювальному ланцюгу розрізняють перетворювачі первинні (наприклад, на який безпосередньо впливає вимірювана фізична величина) і проміжні (наприклад, який займає місце у вимірювальному ланцюзі після первинного перетворювача).

Конструктивно відокремлений первинний вимірювальний перетворювач, від якого надходять сигнали вимірювальної інформації, є датчиком. Датчик може бути винесено на значну відстань від ЗВТ, що приймає його сигнали. Наприклад, датчики запущеного метеорологічного радіозонда передають інформацію про температуру, тиск, вологість та інші параметри атмосфери.

Якщо перетворювачі не входять до вимірювального ланцюгу і їх метрологічні властивості не нормовано, то вони не відносяться до вимірювальних. Так, наприклад, силовий трансформатор в радіоапаратурі, термопара в термоелектричному холодильнику.

*Вимірювальний прилад* – це засіб вимірювання, призначений для отримання значень вимірюваної фізичної величини в установленому діапазоні. Прилад, як правило, містить пристрій для перетворення величини вимірювання і її індикації в формі, що найбільш доступна для сприйняття. У багатьох випадках пристрій для індикації має шкалу зі стрілкою, діаграму з пером, або цифропоказчик, за допомогою яких може бути виконаний відлік, або реєстрація значення фізичної величини. У разі сполучення приладу з міні-ЕОМ відлік може проводитися за допомогою дисплею.

За видом індикації значень величини виміру вимірювальні прилади поділяють на ті що показують і реєструють. Прилад для показання дозволяє лише відлік показання величини вимірювання (мікрометр, аналоговий або цифровий вольтметр). У приладі для реєстрації передбачено механізм реєстрації показання за часом – у формі діаграми, або шляхом друкування показань (термограф; розривний елемент для запису; вимірювальний прилад, пов'язаний з ЕОМ, дисплеєм і пристроєм для друкування показання).

*Вимірювальна система* – це сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації про декілька вимірюваних фізичних величин. Прикладом є вимірювальна система

для вимірювання питомого опору електротехнічних матеріалів, система для випробувань магнітних матеріалів. Вимірювальну систему, що призначена для випробування будь-яких виробів, іноді називають стендом для випробування.

Вимірювальна інформаційна система – це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації. Зазвичай такі системи автоматизовані. Виробляє сигнал у формі зручної для автоматичної обробки і відображення результату вимірювання у формі зручної для користувача. Прикладом може служити радіонавігаційна система для визначення місця розташування суден, що складається з ряду вимірювальних комплексів, рознесених в просторі на значній відстані один від одного.

«Обличчя» сучасної вимірювальної техніки визначається автоматизованими системами вимірювання, інформаційного вимірювання, вимірювально-обчислювальними комплексами. Типова система інформаційного вимірювання містить в своєму складі ЕОМ і забезпечує збір, обробку та зберігання інформації, що надходить від численних датчиків, які характеризують стан об'єкта, або процесу. При цьому результати вимірів видаються як за заздалегідь заданою програмою, так і за запитом.

Застосування новітніх систем вимірювання дозволяє не тільки прискорити процес вимірювання (що дуже важливо для товарів, що швидко псуються), а й дати більш об'єктивну характеристику якості конкретної партії товару.

За метрологічним призначенням всі ЗВТ підрозділяються на два види – робочі і еталонні.

*Робочі засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)* призначені для проведення технічного вимірювання. За умовами використання вони можуть бути:

- лабораторними, що використовуються при наукових дослідженнях, проектуванні технічних пристроїв, медичних вимірюваннях;
- виробничими, що використовуються для контролю характеристик технологічних процесів, контролю якості готової продукції, контролю випуску товарів;

- польовими, що використовуються безпосередньо при експлуатації таких технічних пристроїв, як літаки, автомобілі, річкові та морські судна і ін.

До кожного виду робочих ЗВТ пред'являються специфічні вимоги: до лабораторних – підвищена точність і чутливість; до виробничих – підвищена стійкість до ударно вібраційного навантаження, високих і низьких температур; до польових – підвищена стабільність в умовах різкого перепаду температур, високої вологості.

Еталонні це високоточні ЗВТ, а тому використовуються для проведення метрологічного вимірювання в якості засобів передачі інформації про розмір одиниці. Розмір одиниці передається «зверху вниз», від більш точних ЗВТ до менш точних «за ланцюжком»: первинний еталон – вторинний еталон – робочий еталон 0-го розряду – робочий еталон 1-го розряду – ... – робочий ЗВТ.

Передавання розміру здійснюється в процесі перевірки ЗВТ. Метою перевірки є встановлення придатності ЗВТ до застосування. Супідрядність ЗВТ, що беруть участь в передачі розміру одиниці від еталону до робочих ЗВТ, встановлюється використанням схем повірки ЗВТ. Перспективним напрямом є створення багатофункціональних еталонів, т.б. еталонів, що відтворюють на єдиній конструктивній та метрологічній основі не одну, а кілька одиниць фізичних величин, або одну одиницю, але в широкому діапазоні вимірювання. Так, метрологічні інститути країни створюють єдиний еталон часу, частоти і довжини, який дозволить, до речі, зменшити похибку відтворення одиниці довжини до  $1 \cdot 10^{-11}$ .

Якщо технічний рівень первинних еталонів завдяки успіхам науки і ентузіазму вчених можна оцінити як цілком задовільний, то стан парку ЗВТ, що знаходяться в практичному обігу, перш за все робочих еталонів і ЗВТ, вселяє тривогу. Якщо в 1980-х рр. термін поновлення вимірювальної техніки, як правило, становив 5...6 років (для порівняння в США і Японії – не більше трьох років), то регрес в області національного приладобудування, який зараз спостерігається, ще більше збільшив терміни поновлення робочих еталонів і робочих ЗВТ, що веде до значного старіння вимірювальної техніки.

Іншою проблемою національних виробників ЗВТ є висока вартість їх розробок в порівнянні з зарубіжними фірмами. Для подолання традиційного відставання необхідно також у вітчизняних приладах передбачати: високий ступінь автоматизації на базі

мікропроцесорної технології, підвищення швидкодії, високої надійності, естетики та ергономіки, зниження маси, габаритних розмірів.

Різноманіття ЗВТ обумовлює необхідність застосування спеціальних мір щодо забезпечення єдності вимірювання. Одна з умов дотримання єдності вимірювання – встановлення для ЗВТ певних (нормованих) метрологічних характеристик.

## **6.8. Державна система забезпечення єдності вимірювання**

Центральне завдання в організації робіт вимірювання – досягнення результатів порівняння при вимірюванні одних і тих же об'єктів, що виконані в різний час, в різних місцях, за допомогою різних методів і засобів. Це завдання вирішується шляхом забезпечення єдності вимірювання. У свою чергу ця єдність досягається в результаті діяльності метрологічних служб, яка спрямована на досягнення і підтримку єдності вимірювання відповідно до державним актам, правилам, вимогам, нормам, встановленим стандартам та іншими нормативним документам в галузі метрології.

В організаційному плані ця єдність забезпечується суб'єктами метрології – державною метрологічною службою країни, що погоджує свою діяльність з міжнародними метрологічними організаціями, метрологічними службами країн і метрологічними службами юридичних осіб.

Найважливішою формою забезпечення єдності вимірювання з боку держави є державний метрологічний контроль і нагляд.

Нормативною базою забезпечення єдності вимірювання служить законодавча метрологія, а технічною базою – система відтворення одиниць фізичних величин і передачі інформації про їх розмір всім без винятку ЗВТ в країні.

Калібрування засобів техніки вимірювання – це сукупність операцій, які виконуються з метою визначення і підтримки дійсних значень метрологічних характеристик і (або) придатності до застосування засобів вимірювання, що не підлягає державному метрологічному контролю і нагляду.

З визначення можна зробити два висновки:

1) калібрування проводиться для тих ЗВТ, які не використовуються в сферах державного метрологічного контролю і

нагляду (встановлених Законом про забезпечення єдності вимірювань), а значить, не підлягають повірці;

2) калібрування виконує наступні функції:

- визначення та підтвердження дійсних значень метрологічних характеристик ЗВТ;

- визначення та підтвердження придатності ЗВТ до застосування.

У першому випадку, лабораторія, що виконує калібрування (повірку) за заявками (договором) замовника ЗВТ, не робить висновку про придатність приладу. Характеристики, що встановлені можуть відрізнятися від паспортних, і тільки в компетенції замовника визначати, в яких умовах і для яких цілей можна і потрібно використовувати дані ЗВТ.

У другому випадку ЗВТ визнаються придатним, якщо дійсне значення його метрологічних характеристик відповідає технічним вимогам, які встановлені у нормативних документах, або замовником. Висновок про придатність ЗВТ в цьому випадку робить лабораторія калібрування.

На практиці, розв'язування задач вимірювання при калібруванні може зводитися тільки до перевірки придатності ЗВТ, т.б. його працездатності. Зокрема, потрібно знати не дійсне значення величини вимірювання, а лише констатувати наявність величини сигналу вимірювання певного рівня. Прикладом може служити калібрування пристроїв – сигналізаторів граничного значення температури. У сигналізаторах, що мають одну, або кілька сигнальних лампочок, включення або виключення останніх свідчить про досягнення граничного значення величини. У пристроях, що мають шкалу у вигляді декількох колірних секторів (подібних посуду фірми «Цептер»), положення стрілки показання в межах конкретного сектора означає певний стан об'єкта вимірювання.

У законі України "Про метрологію та метрологічну діяльність" вказується на добровільний характер і область застосування калібрування: «Засоби вимірювальної техніки, які не підлягають повірці, можуть піддаватися калібруванню під час випуску з виробництва або ремонту, при ввезенні за імпортом, при експлуатації, користуванні та продажу». Добровільний характер калібрування не звільняє метрологічну службу від необхідності використання при калібруванні еталонів, супідрядних з державними стандартами одиниць величин.

Калібрування може бути покладена як на метрологічні служби юридичної особи, так і на будь-яку іншу організацію, здатну виконати роботи з калібрування. Результати калібрування ЗВТ засвідчуються калібрувальним знаком, що наноситься на ЗВТ, записом в експлуатаційних документах або сертифікатом про калібрування.

На основі договорів, що укладаються з державними науковими метрологічними центрами або органами НМС, зацікавлені метрологічні служби юридичних осіб можуть бути акредитовані на право проведення робіт з калібрування. У цих випадках останнім надається право видавати сертифікати про калібрування від імені органів і організацій, які їх акредитували.

Акредитація – процедура добровільна. Вона необхідна перш за все тоді, коли підприємство поставляє продукцію на зарубіжні ринки. В цьому випадку торговий партнер (покупець) може зажадати від продавця підтвердження того, що характеристики продукції вимірювалися приладами, перевіреними акредитованою метрологічною службою.

### ***Контрольні питання***

- 1. Надайте визначення вимірювання, метод вимірювання, методика проведення вимірювання та об'єкт вимірювання.*
- 2. Наведіть приклади різних видів вимірювання.*
- 3. Класифікація методів вимірювання.*
- 4. Перелічіть основні структурні схеми електричних вимірювальних приладів.*
- 5. Засоби вимірювання та їх класифікація.*
- 6. Класифікація ЗВТ за умовами використання.*
- 7. Завдання державної системи забезпечення єдності вимірювання.*

## 7. МЕТРОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИМІРЮВАННЯ

*Мета розділу: ознайомлення з основними метрологічними показниками вимірювання та методикою зважування на лабораторних і аналітичних терезах.*

### 7.1. Основні терміни та визначення

З 1 січня 1995 р. на території України діє державний стандарт ДСТУ 2681-94 "Метрологія. Терміни та визначення" у якому узаконені основні терміни та визначення, що стосуються похибок вимірювання і засобів вимірювальної техніки.

Далі наводяться терміни та визначення похибок, які найбільш часто використовуються.

**Абсолютна похибка (вимірювання)** – це відхилення результату вимірювання від істинного (дійсного) значення величини, що вимірюється.

Істинне значення величини невідомо, його застосовують тільки в теоретичних дослідженнях. На практиці використовують дійсне значення величини  $X_D$ . Похибка вимірювання  $\Delta x_{\text{вм}}$  визначають за формулою:

$$\Delta x_{\text{вм}} = X_{\text{вм}} - X_D,$$

де  $X_{\text{вм}}$  – виміряне значення величини.

Синонімом терміну «абсолютна похибка (вимірювання)» є термін «похибка вимірювання», або «помилка вимірювання», застосування яких не рекомендується.

**Систематична похибка (вимірювання)** – це складова похибки результату вимірювання, яка залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини. Залежно від характеру зміни систематичні похибки поділяють на постійні; прогресивні; періодичні; похибки, що змінюються за складним законом.

*До постійних* відносяться похибки, які тривалий час зберігають своє значення, наприклад, протягом часу виконання всього ряду вимірювання. Вони зустрічаються найбільш часто.

*Прогресивними* є безперервно зростаючі, або спадаючі похибки. До них відносяться, наприклад, похибки внаслідок зносу вимірювальних наконечників, що контактують з деталлю при контролі її приладом активного контролю.

*Періодичні* похибки це ті, значення яких є періодичною функцією часу, або переміщення покажчика вимірювального приладу.

*Похибки, що змінюються за складним законом*, виникають внаслідок спільної дії декількох систематичних похибок.

***Інструментальна похибка вимірювання*** – це складова похибки вимірювання, яка обумовлена похибкою засобу вимірювання, що використовується.

***Методична похибка (вимірювання)*** – це складова похибки вимірювання, що зумовлена похибкою засобу вимірювання та його моделі, прийнятою при вимірюванні. Внаслідок спрощення, які прийняті в рівняннях для вимірювання, нерідко виникають суттєві похибки, для компенсації, дії яких слід вводити поправки. Похибка методу іноді називають теоретичною похибкою. Іноді похибка методу може проявлятися як випадкова.

***Випадкова похибка вимірювання*** – це складова похибки результату вимірів, що змінюється випадковим чином (по знаку і значенню) при повторних вимірюваннях, що проведені з однаковою ретельністю однією і тієї ж фізичної величини.

***Відносна похибка вимірювання*** – це відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного, або виміряного значення величини. Відносну похибку  $\delta$  в частках одиниць, або відсотках знаходять із відношення:

$$\delta = \frac{\Delta x}{X}, \text{ ч. од.}, \text{ або } \delta = \frac{\Delta x}{X} \cdot 100, \%$$

де  $\Delta x$  – абсолютна похибка вимірювань;  $X$  – дійсне, або виміряне значення величини.

В процесі вимірювання однієї і тієї ж величини зазвичай отримують декілька значень, як правило, зумовлене дією випадкових похибок. Експериментатори називають це явище розсіювання результатів в ряду вимірів.

Кількісну оцінку розсіювання результатів внаслідок дії випадкових похибок зазвичай отримують після введення поправок на дію систематичних похибок. Оцінками розсіювання результатів в ряду вимірів можуть бути: розмах, середня арифметична похибка (за модулем), середня квадратична похибка.

Розмах результатів вимірювання представляє собою оцінку  $R_n$  розсіювання результатів одиничного вимірювання фізичної величини,

що утворюють ряд (або вибірку з  $n$  вимірювань), яка обчислюється за формулою:

$$R_n = X_{\max} - X_{\min},$$

де  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  – найбільше та найменше значення фізичної величини в даному ряду вимірювання.

Розсіювання зазвичай обумовлено проявом випадкових причин при вимірюванні і носить імовірнісний характер.

Однією із основних оцінок розсіювання є – **експериментальне середнє квадратичне відхилення (результатів вимірювання), або вибіркоче середнє квадратичне відхилення.**

Для серії із  $n$  вимірювань однієї й тієї ж вимірюваної величини параметр  $S$  що характеризує розсіювання результатів  $n$  вимірювань однієї і тієї ж величини визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (7.1)$$

де  $n$  – загальне число вимірювання;  $x_i$  – результат  $i$ -го одиничного вимірювання;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення вимірюваної величини з  $n$  одиничних результатів.

**Довірчі границі похибки (результату) вимірювання** є верхня та нижня границі інтервалу, що накриває з заданою ймовірністю похибку вимірювання.

Довірчі межі похибки в разі нормального закону розподілу знаходяться в межах  $(\pm tS, \pm tS_x)$ . Показники  $S$ ,  $S_x$  є середніми квадратичними похибками відповідно одиничного і середнього арифметичного результатів вимірювання;  $t$  – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності  $P$  і числа вимірювання  $n$ .

**Поправка** – це значення величини, що алгебраїчно додається до результату вимірювання з метою видалення систематичної похибки. Знак поправки протилежний знаку похибки. Поправка, яка додається до номінального значення вимірів, називають поправкою до значення міри. Поправка, що вводиться в показання вимірювального приладу, називають поправкою до показання приладу.

**Точність вимірювання** – це головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

**Статична похибка вимірювання** – це похибка результату вимірювання, властива умовам статичного вимірювання.

*Динамічна похибка вимірювання* – це складова похибки, що виникає додатково до статичної під час динамічних вимірювань.

*Промак* – це результат вимірювання, що має надмірну похибку. Іноді замість терміна «промак» застосовують термін «надмірна похибка вимірювання».

*Надмірна похибка вимірювання* – похибка вимірювання, що суттєво перебільшує очікувану (в даних умовах) похибку.

## 7.2. Дослідження у лабораторних умовах

Лабораторні дослідження в збагаченні корисних копалин проводяться з метою вивчення фізико-механічних властивостей мінеральної сировини, його збагачувальності, закономірностей технологічних процесів і їх параметрів. При навчанні студентів вони дають навички експериментальної роботи.

Лабораторні (експериментальні) дослідження умовно поділяються на етапи: підготовчий, основний і завершальний.

Підготовчий етап включає постановку задачі дослідження, складання методики проведення експерименту, вибір необхідної апаратури, приладів, їх точності та матеріалів.

Основний етап містить власне дослідження, які полягають в постановці дослідів згідно із розробленою методикою і реєстрації змінних параметрів.

Заключний етап складається з оцінки похибок вимірювань, обробки отриманої інформації з метою визначення надійності і відтворюваності експерименту, математичних виразів, апроксимуючих залежностей, що отримані, відповідно до змінних параметрів.

Постановка завдання дослідження впливає з мети роботи і формулюється дослідником на підставі апріорної інформації (отримана із технічної літератури, до проведення дослідження, відповідно до мети), або впливає зі змісту науково-дослідницької роботи (НДР), якщо лабораторне дослідження передбачене методикою виконання даної роботи. Наприклад, при виконанні багатьох НДР в області збагачення корисних копалин потрібно знати гранулометричний склад продуктів. Тому виконання гранулометричного аналізу повинно бути передбачено методикою виконання НДР, і його завданням є отримання інформації про вміст класів крупності в продуктах, в той час як мета НДР може бути

іншою, наприклад, визначення оптимальних параметрів подрібнення руди.

Методика дослідження включає схему дослідження і планування експерименту. Схема дослідження визначає зміст експерименту, його апаратурне забезпечення, необхідну точність вимірювання, вимірювані параметри і межі їх вивчення, методи аналізу, послідовність проведення експерименту, що застосовуються.

На підставі розробленої методики і сформульованих в ній вимог вибирають необхідну апаратуру, вимірювальні прилади, матеріали і здійснюють, якщо це необхідно, монтаж лабораторної установки.

Необхідну точність вимірювальних приладів вибирають виходячи з необхідної похибки експерименту. Зайва вимогливість до вимірювання окремих величин може бути в такій же мірі ознакою недосвідченості експериментатора, як і недбале ставлення до точності.

Отримані значення, із проведеного дослідження, можуть входити в розрахункову формулу в самому різному вигляді: шукана величина може дорівнювати їх сумі або різниці, їх добутку або результату від ділення один на одного. Нарешті, ці значення можуть входити в рівняння під знаком логарифма або в будь-якому степені і т. д. В залежності від цього вплив одних і тих же відносних похибок окремих вимірювань на похибку кінцевого результату буде неоднаковим.

Пояснимо це на прикладах. Нехай кінцевою метою досліду є визначення виходу продукту збагачення за результатами вимірювання маси цього продукту і початкової руди. Необхідно з'ясувати точність вимірювання маси, якщо бажана точність обчислення виходу повинна становити 0,01% ( $10^{-4}$ ).

У загальному вигляді вираз для визначення виходу продукту збагачення має вигляд:

$$\gamma_i = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100, \%$$

де  $\gamma_i$  – вихід  $i$ -того продукту, %;  $m_i$ ,  $m_0$  – визначена маса  $i$ -того продукту та початкової руди, відповідно, кг (г).

При цьому відносна похибка складатиме:

$$\varepsilon = \frac{\gamma_i - \gamma_{di}}{\gamma_i}, \quad (7.2)$$

де  $\gamma_{\partial i} = \frac{m_{\partial i}}{m_{\partial 0}} \cdot 100$  – дійсне (істинне) значення виходу продукту, %.

Підстановка  $\gamma_i$  та  $\gamma_{\partial i}$  значень у формулу (7.2) дає

$$\varepsilon = \frac{\pm 1 \pm \gamma_{\partial i}}{\frac{m_i}{\Delta m} \pm \gamma_{\partial i}} \cdot 0,$$

звідки точність вимірювання маси

$$\Delta m = \frac{m_i}{\frac{\pm 1 \pm \gamma_{\partial i}}{\varepsilon} \pm \gamma_{\partial i}}.$$

При несприятливому складанні результатів зважування  $m_i$  маємо

$$\Delta m = \left| \frac{1}{\frac{-(1 + \gamma_{\partial i})}{\varepsilon} - \gamma_{\partial i}} \right| \cdot m_i;$$

$$\Delta m = \left| \frac{1}{\frac{-(1 + 0,2)}{10^{-4}} - 0,2} \right| \cdot 40 = 8,33 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 3,33 \text{ мг}.$$

Тоді

$$\gamma_i = \frac{m_i \pm \Delta m}{m_0 \pm \Delta m} \cdot 100\%.$$

### 7.3. Вимір маси

Найбільш частою операцією в лабораторних роботах зі збагачення корисних копалин є вимір маси (зважування на вагах). Для цього широко використовують технохімічні терези, що дозволяють визначати масу з точністю до 0,01 г.

Аналітичні терези (ваги) застосовують переважно в аналітичних лабораторіях при аналізах (точність зважування 0,0001 г). До грубого зважування (з точність до 1 г) в лабораторній практиці вдаються дуже рідко.

Ваги – точний вимірювальний прилад, тому необхідні акуратне поводження з ними і хороший догляд. Всі ваги встановлюють тільки на рівній поверхні і обов'язково за допомогою відвісу, рівня, або вбудованого рівня (за місцем положення бульбашки). Перед

зважуванням треба визначити точність зважування та на яких вагах його здійснювати. При зважуванні не можна перевищувати допустиму масу наважки. Зазвичай гранична маса вказується на коромислі ваг.

Технохімічні та аналітичні ваги (терези) мають аретир – пристосування для приведення коромисла ваг в робочий стан.

Поміщати матеріал на чашки ваг, гирі, важки (дрібні гирки, застосовуються спеціальні їх набори – важки), а також знімати гирі, важки з чашок можна тільки при аретированих вагах (ручка аретира в крайньому лівому положенні). Ручку аретира слід повертати обережно і без ривків.

При підборі гир, поки чашки терезів не врівноважені, аретир відкривають не до відмови, а лише настільки, щоб побачити, в який бік відхиляється стрілка. Неприпустимо розміщувати матеріал (речовину) безпосередньо на чашки терезів. Для цього необхідно користуватися тарою (попередньо зваживши її, або врівноважити). При зважуванні на аналітичних вагах можна в якості тари використовувати папір, бюкси і грановане скло. Не можна ставити на чашки терезів гарячі, мокрі і брудні предмети.

При зважуванні на аналітичних вагах (терезах) дозволяється користуватися тільки бічними дверцятами. Відкривати і закривати їх потрібно обережно. Щоб вилучити вплив повітряних течій на точність зважування, бокові дверцята повинні бути закриті.

Предмет, що зважується, слід класти на ліву шальку терезів, а важки – на праву. Важки необхідно брати тільки пінцетом і повертати в ті гнізда футляра, з яких вони були взяті. Важки слід утримувати в чистоті.

При зважуванні будь-якого предмета важки підбирають за певною системою. Спочатку поміщають на праву шальку терезів важок свідомо більшої маси. Злегка відкривають аретир і стежать за стрілкою ваг. Якщо необхідно, то замінюють важок на наступний по порядку меншої маси. Так виконують до тих пір, поки не буде досягнута рівновага. Зважування вважається закінченим, коли відхилення стрілки в праву і ліву сторони від середньої риси шкали стане однаковим.

При зважуванні на аналітичних терезах необхідно стежити, щоб предмет, який зважується, мав би температуру таку ж, як і ваги. Для цього предмет потрібно витримувати біля терезів протягом 30...40 хв.

Після зважування нічого не залишати на терезах. Переконайтеся, що шальки терезів не забруднені. Після закінчення роботи перевірити ваги (терези), вони повинні бути аретировані та закриті.

### ***Контрольні питання***

- 1. Надайте визначення абсолютної, систематичної, інструментальної, методичної, випадкової та відносної похибки.*
- 2. Чи відрізняються між собою методика та схема дослідження, обґрунтуйте?*
- 3. Що характеризує середнє квадратичне відхилення?*
- 4. Опишіть методику зважування на аналітичних та лабораторних терезах.*

## 8. РЕЄСТРАЦІЯ ЗМІННИХ ПАРАМЕТРІВ

*Мета розділу: ознайомлення з формами представлення результатів дослідження.*

Експериментальні дані та розрахункові величини, які отримані за допомогою їх, представляють у вигляді таблиць, графіків або рівнянь. Залежно від призначення результатів доцільно застосовувати один із зазначених способів або їх поєднання.

Всі вимірювання містять, щонайменше, дві змінні величини, одну з яких вибирають в якості незалежної (в досліді її задають як аргумент  $x$ ), а інша або інші є залежними (функції  $y$ ,  $z$  і т. д.).

У таблиці аргумент і функції повинні стояти в одному рядку, кожна в своєму стовпці. Стовпець повинен мати заголовок, який вказує назву та одиницю виміру наведеної в ньому величини. За незалежну змінну приймають такі величини, як: час, температура, тиск, концентрація, витрата і т. п. При складанні таблиці значення аргументу і відповідних функцій розташовують в порядку зростання, або зменшення. При заповненні таблиці чисельні значення повинні бути розташовані таким чином, щоб коми, що відокремлюють десяткові знаки, були розташовані в кожному стовпці на одній вертикалі.

Кожне число в таблиці повинно містити не більше і не менше значущих цифр, ніж дозволяє точність експериментальних даних. Числа, отримані як середнє арифметичне з декількох експериментальних даних, або розрахунковим шляхом, слід округляти так, щоб остання цифра в числі була першою сумнівною цифрою. У цілих числах цифри, наступні за першою сумнівною, замінюються нулями.

При округленні чисел необхідно дотримуватися таких правил:

– якщо перша цифра, що відкидається, із ряду цифр менше п'яти, то попередня цифра залишається незмінною (37,647 округляється до 37,6);

– якщо перша цифра, що відкидається, із ряду цифр більше або дорівнює п'яти, а наступні нерівні нулю, то попередню цифру збільшується на одиницю (8,468 округляється до 8,5; 52,663 – до 52,7);

– якщо цифра, що відкидається, дорівнює п'яти і за нею йдуть тільки нулі, то попередню цифру прийнято округляти до найближчого парного значення (16,350 округляється до 16,4; 16,450 – до 16,4).

Проміжні значення функції  $y$ , що відповідають певним значенням аргументу  $x$  в межах даної таблиці, знаходять за допомогою інтерполяції, а за межами експериментальних даних – за допомогою екстраполяції.

Графічне зображення експериментальних і розрахункових даних сприятиме кращому розумінню величин, дозволяє легко виявити наявність максимумів, мінімумів, точок перегину, найбільшої і найменшої швидкості зміни величин, періодичність та інші важливі властивості. У таблицях ці особливості проявляються менш чітко. За допомогою графіків можна диференціювати й інтегрувати одні змінні щодо інших, при цьому можна не знати математичної форми залежності, яка представлена графічно.

При побудові графіків необхідно дотримуватися кількох основних правил.

Вибір масштабу. Значення незалежної змінної (аргументу) відкладають, як правило, по осі абсцис, функції – по осі ординат. На питання про те, яку з двох змінних величин вважати незалежною, відповідає зазвичай експеримент. Якщо в ході експерименту значення однієї із змінних встановлюють довільно, а відповідні значення інших змінних є при цьому вже цілком певними, то перша змінна і вважається незалежною. Загального правила для вибору аргументу бути не може.

Масштаби потрібно вибирати так, щоб координати будь-якої точки графіка могли бути визначені швидко і легко (рис. 8.1). Якщо на міліметровці відстань між двома головними сусідніми лініями розділена на десять рівних частин, то найбільш зручно вибирати такий масштаб, в якому ця відстань прийнято за одну, дві або п'ять одиниць, або ці значення помножені на 10. Масштаб, при якому читання графіка визиває труднощі, не може вважатися прийнятним (рис. 8.1, б).

Не всі лінії координатної сітки повинні бути надписані; часто для читання графіка виявляється зручним надписувати лінії через одну або кілька. Але яка б система напису позначень не була прийнята, вона повинна бути дотримана на всьому графіку. Доцільно, щоб числа, проставлені на осі, містили стільки значущих цифр, скільки допускає точність даних або скільки можна прочитати на кривій.

Для зручності користування графіком необхідно проставити на кожній координатній осі назву, що вони показують, та одиниці величини, в яких вона вимірюється (рис.8.2).

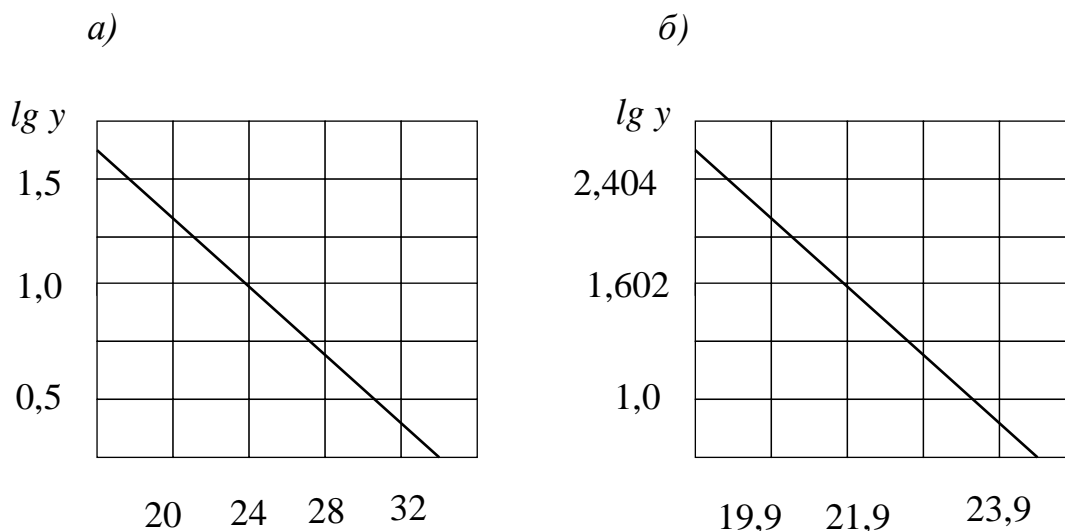


Рисунок 8.1. – Вибір масштабу:  
*a* – правильний вибір;

*б* – неправильний вибір

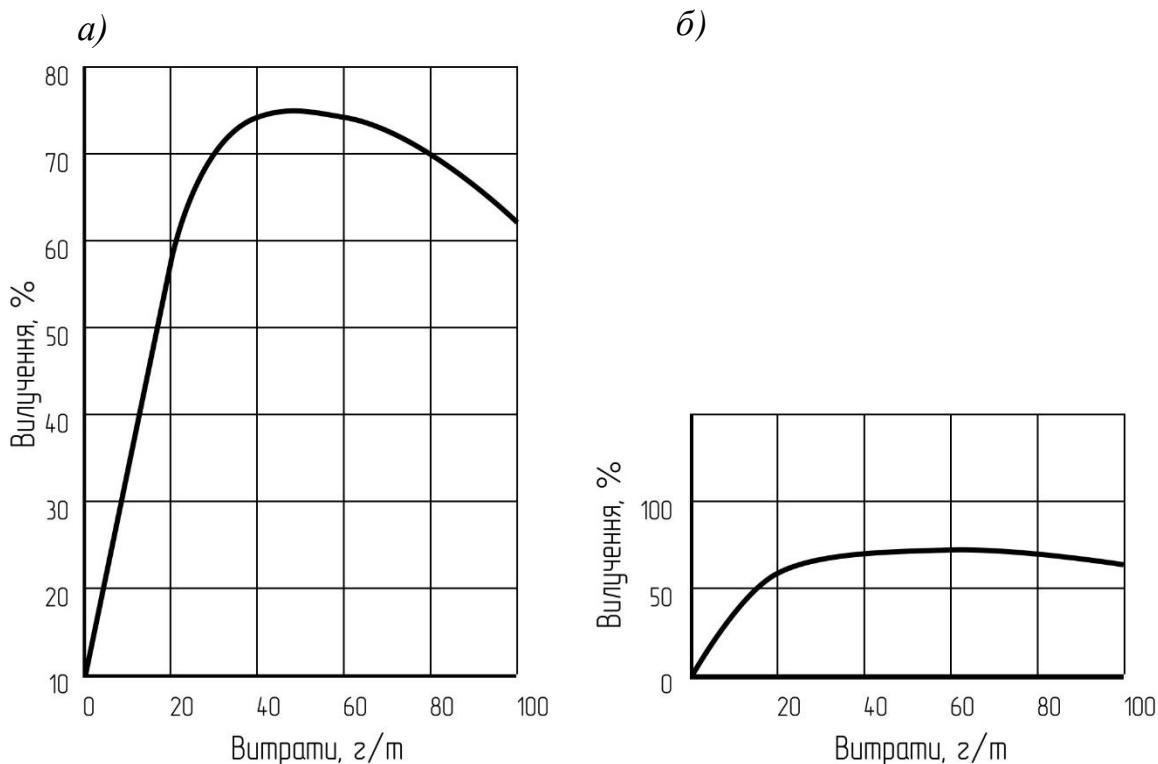


Рисунок 8.2. – Залежність вилучення цінного компонента в концентрат від витрати реагенту:

*a* – правильний масштаб;

*б* – неправильний масштаб

Масштаби слід вибирати так, щоб похибка вимірювання відповідала похибці на графіку не більше, ніж одне-два найменших

ділень масштабу. При виборі шкали за осями координат немає необхідності обов'язково починати з нульового значення, якщо це не викликано спеціальними обставинами (екстраполяція і т. п.). Відповідно до цього правила шкала для кожної змінної величини може починатися з найменшого округленого значення із сукупності даних, або трохи нижче і кінчатися найбільшим округленим значенням, або трохи вище.

У тих випадках, коли графік призначається для визначення похідних або коефіцієнтів рівняння, що відображає цю криву, або екстраполяції отриманої залежності за межі вимірювання, слід вибирати таку функціональну залежність, щоб лінії виходили «випрямленими», тобто зменшувалася їх кривизна (рис. 8.2, б).

Масштаби повинні бути обрані так, щоб крива, наскільки це можливо, була нахилена до осі абсцис під кутом, близьким до  $45^\circ$ .

При необхідності підкреслити характерні особливості у зміні функції (наявність максимуму, мінімуму, точки перегину і т. п.) слід збільшувати масштаб функції і зменшувати масштаб аргументу (рис. 8.2, а і б; максимум вилучення на кривій *a* виражений більш чітко).

При проведенні кривої через нанесені точки потрібно пам'ятати, що крива повинна бути:

- плавною з малим числом перегинів;
- проходити якомога ближче до всіх нанесених точок, проте не обов'язково через кожен окрему точку, особливо через кінцеві, що відповідають вимірам, точність яких часто виявляється меншою, ніж для інших, так як вони відповідають межі точності інструменту, або методу, що застосовується.

Зазвичай (хоча і не завжди) крива не повинна містити незрозумілих розривів, самоперетинів або інших особливостей. Якщо дані розбиті на невеликі групи, то приблизно половина точок кожної групи повинна лежати на одному боці кривої, а половина – на іншому.

Якщо крива призначається для точного визначення відповідних значень  $x$  і  $y$ , або для точного визначення похідних, то проводити її слід у вигляді максимально тонкої лінії.

### ***Контрольні питання***

1. Основні правила, що використовуються при округленні чисел.
2. Надайте приклад складання таблиці.
3. Графічне зображення результатів дослідження.
4. Правила, що використовуються при виборі масштабу графіку.

## 9. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

*Мета розділу: ознайомлення з основними методами і засобами обробки експериментальних даних.*

### 9.1. Основні поняття і визначення математичної статистики

Результат експерименту незалежно від його цільового призначення отримують у вигляді набору чисел. Для того щоб скористатися результатами проведеного експерименту і зробити на підставі його якісь узагальнення і висновки, попередньо необхідно статистично обробити всі матеріали експерименту. Статистична обробка емпіричних даних зазвичай зводиться (в загальному вигляді) до наступного.

1. Обчислення визначених характеристик параметру, що досліджується.

2. Визначення теоретичних значень характеристик за експериментальними даними.

3. Порівняння за певними критеріями експериментальних значень характеристик із заданими теоретичними.

4. Вирівнювання емпіричного розподілу за теоретично прийнятим (або заданим).

5. Порівняння емпіричних і теоретичних функцій за певними критеріями згоди.

6. Встановлення виду залежності між двома випадковими величинами.

Обробка експериментальних даних в загальному випадку зводиться до статистичної обробки масиву значень (вибірки) випадкової величини  $X_i$  з метою пошуку закономірності її розподілу, взаємозв'язку з іншими параметрами процесу  $(y_i, z_i)$  і заміни численних взаємозв'язків випадкових величин їх математичною моделлю.

Сукупність  $n$  випадкових величин  $x_i$ ; характеризується початковими  $m_k(x)$  і центральними  $M_k(x)$  моментами  $k$ -го порядку:

$$m_k(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^k ; \quad M_k(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m(x))^k ,$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots$  (зазвичай  $k < 4$ ); центральний момент  $m_i(x) = 0$ .

Середнє значення випадкової величини (найбільш ймовірне, первісний момент, при нормальному законі розподілу – математичне сподівання):

$$\bar{x} = m_k(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i.$$

Дисперсія (другий центральний момент, ймовірна ступінь відхилення випадкової величини):

$$D = \sigma^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$$

Для нормального закону розподілу є зміщеною незміщена дисперсія:

$$D_0 = S_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$$

Різниця між ними особливо значна при малих об'ємах вибірки  $n$  і несуттєва при великих ( $n > 30$ ).

Середнє квадратичне відхилення (міра відхилення, стандартна похибка):

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

Одним із завдань статистичної обробки матеріалу є знаходження такої функції розподілу, яка, з однієї сторони, досить добре описувала значення, що спостерігаються, а з іншого – була б зручна для наступного статистичного аналізу.

У зв'язку з різноманітною природою випадкових величин щільності розподілу ймовірності можуть приймати самий різний вигляд. Запропоновано цілий ряд формул, що відповідають різній фізичній сутності величин. Найбільш поширені види розподілів і області їх застосування в збагаченні корисних копалин наведені в літературі із статистики.

Найбільш простим і в більшості випадків достатнім є закон нормального розподілу випадкових величин.

Щільність розподілу ймовірності  $f(x)$  має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}\right).$$

Інтегральна функція розподілу випадкової величини:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(t_i - \bar{x})^2}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}\right) dt. \quad (9.1)$$

Цей інтеграл не може бути виражений через елементарні функції.

Скориставшись інтегральною функцією Лапласа, маємо:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(t_i - \bar{x})^2}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}\right) dt. \quad (9.2)$$

Вираз приводимо до виду:

$$F(x) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \Phi\left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma}\right)\right). \quad (9.3)$$

Ймовірність того, що величина  $x$ , яка отримується у вимірах, потрапить в інтервал  $(a, b)$  (коефіцієнт надійності) на підставі формул (9.2), (9.3) записується у вигляді:

$$P(a, b) = \frac{1}{2} \cdot \left(\Phi\left(\frac{b - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \bar{x}}{\sigma}\right)\right). \quad (9.4)$$

Закон нормального розподілу (розподіл Гауса) добре описує відхилення значення величини, що вимірюється, від істинного його значення при великому числі повторних вимірів. На практиці нерідко обходяться двома – трьома вимірами. Результати утворюють дуже малу вибірку. Нормальний розподіл при аналізі похибок тут вже не придатний. У цьому випадку розподіл Стюдента набагато краще описує отримані результати. На основі значень  $x_i$ , які отримані при вимірюванні, визначають випадкову величину:

$$t_{\alpha n} = \frac{x - \bar{x}}{S_n} = \frac{\Delta x}{S_n} \cdot \sqrt{n},$$

де  $\alpha$  – довірна ймовірність;  $n$  – число вимірювань;  $S_n$  – середня квадратична похибка.

Тоді при нормальному розподілі  $x_t$  щільність розподілу ймовірності виражається формулою Стюдента:

$$f(t_{\alpha n}) = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{n-1} \cdot \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}},$$

де  $\Gamma(x)$  – гамма-функція ( $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} \cdot \exp(-t) dt$ ).

Функція  $f(t_{an})$  – парна.

Ймовірність того, що величина  $x$ , яка вимірюється, потрапить в заданий інтервал, визначиться інтегралом:

$$P = \int_{t_{1an}}^{t_{2an}} f(t) dt.$$

Якщо вказана ймовірність того, що істинне значення вимірюваної величини  $x$  потрапить в довірчий інтервал, то за кількістю вимірювань можна визначити коефіцієнт Стюдента  $t_{an}$ .

Тоді, похибка визначиться, як:

$$\Delta x = t_{an} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{n}}. \quad (9.5)$$

Результат вимірювання записується у вигляді:

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x.$$

із зазначенням довірчої ймовірності і числа вимірювань  $n$ .

Кількісну оцінку ступеня відхилення експериментальної кривої розподілу від нормального дають показники асиметрії і ексцесу.

Показник асиметрії (асиметрія):

$$A = \frac{M_3}{M_2^{3/2}} = \frac{1}{n \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3. \quad (9.6)$$

Для нормального закону розподілу показник асиметрії дорівнює нулю, т. б.  $A = 0$  (рис. 9.1, крива 1). При додатному, або від'ємному значенні показника асиметрії крива нормального закону розподілу зміщується відповідно вліво, або вправо (рис. 9.1, крива 2,3).

Для нормального закону розподілу показник ексцесу також дорівнює нулю ( $E = 0$ ), при  $E > 0$  вершина експериментальної кривої розподілу піднята і має гострий пік (рис. 9.1, крива 4), а при  $E < 0$  крива опущена і має провал (рис. 9.1, крива 5). У практиці збагачення корисних копалин це може означати розподіл суміші двох типів корисних копалин з помітно різними вмістами корисного компонента раціонально переробляти окремо.

Наприклад, при гравітаційному збагаченні вугілля для отримання максимального виходу концентрату заданої якості різні класи крупності, що мають відмінні один від одного фракційний склад, збагачуються в окремих операціях при різних режимах.

Середня похибка показника ексцесу (допоміжний):

$$\Delta E = \pm \sqrt{\frac{24}{n}}.$$

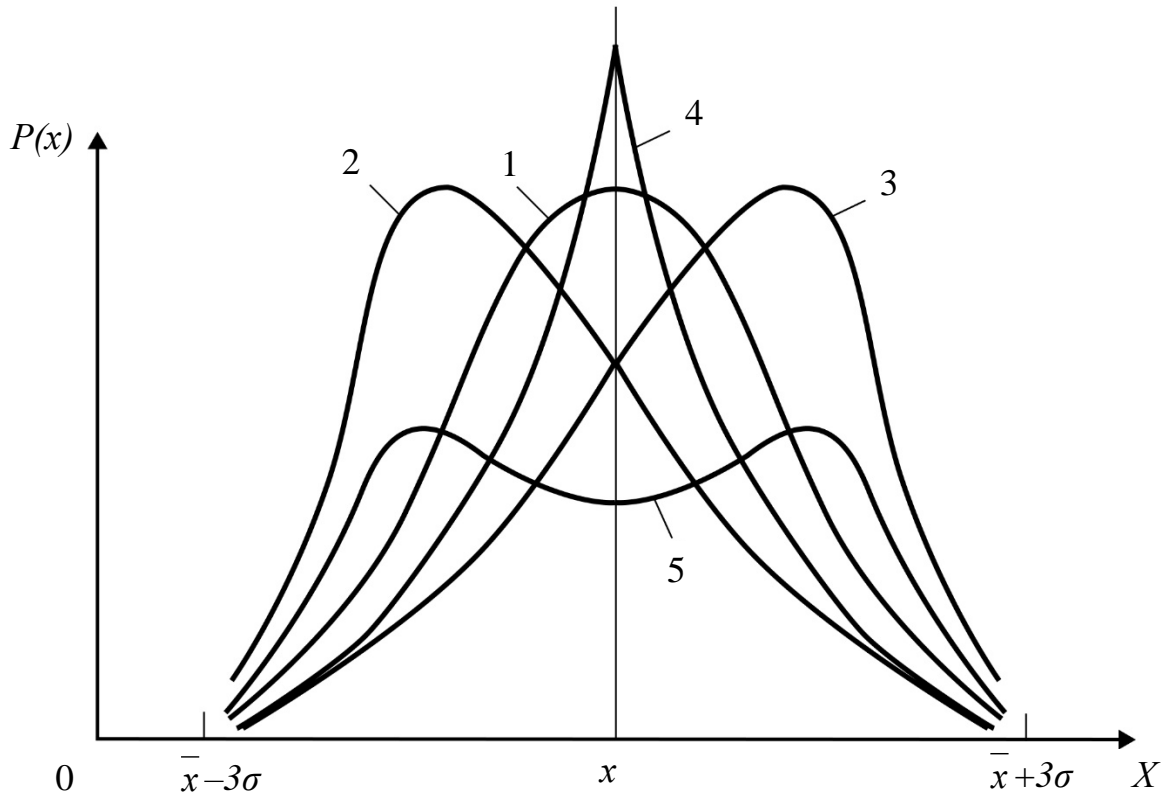


Рисунок. 9.1. – Розподіл випадкових похибок:

1 – нормальний ( $A = 0$ ); 2 – з додатною асиметрією ( $A > 0$ );

3 – з від’ємною асиметрією ( $A < 0$ );

4 – з додатним ексцесом ( $E > 0$ );

5 – з від’ємним ексцесом в його вищій формі ( $E < 0$ )

Середня похибка показника асиметрії:

$$\Delta A = \pm \sqrt{\frac{\sigma}{n}}, \text{ звідки} \quad \Delta E = 2 \cdot \Delta A.$$

При  $\frac{A}{\Delta A}$  і  $\frac{E}{\Delta E}$  менше трьох на підставі правила «трьох сигм»

робиться висновок, що асиметрія і ексцес в даному випадку не мають істотного значення і ознака, яка досліджується, підкоряється закону нормального розподілу випадкових похибок.

Варіаційний коефіцієнт характеризує відносну мінливість випадкової величини у відсотках від її середнього значення:

$$U = \pm \frac{100 \cdot \sigma}{x}.$$

При від'ємній асиметрії в розрахунку приймається  $a = \bar{x}$ , але при визначенні навантаження на основне технологічне обладнання значення виходів продуктів слід розраховувати при  $a = \bar{x} + a$ . При виборі устаткування для переробки відходів збагачення виходи відповідних продуктів необхідно розраховувати при  $a = -a$ . Інакше в період надходження багаті руди буде перевантажено основне устаткування, а при надходженні бідної – не справлятиметься устаткування із переробки відходів. При негативній асиметрії результати розрахунків виявляться протилежними, тим що викладені вище.

Ймовірність того, що результат вимірювання відрізняється від істинного значення на величину, не більшу за  $\Delta x$ , називається довірчою ймовірністю, або коефіцієнтом надійності:

$$P(\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x) = \alpha.$$

Інтервал значень від  $\bar{x} - \Delta x$  до  $\bar{x} + \Delta x$  називається довірчим інтервалом, т. б. з ймовірністю, яка дорівнює  $\alpha$ , результат вимірів не виходить за межі довірчого інтервалу.

Для характеристики випадкової похибки необхідно задати значення довірчого інтервалу і довірчої ймовірності.

Згідно із законом Гаусса середньому квадратичному відхиленню відповідає довірна ймовірність  $\sigma$  (0,68), подвоєному середньому квадратичному відхиленню –  $2\sigma$  (0,95), потроєному середньому квадратичному відхиленню –  $3\sigma$  (0,997).

Згідно із законом додавання випадкових похибок, якщо величина, що вимірюється  $z$  є сумою або різницею двох випадкових величин  $x$  і  $y$ , то:

$$S_z = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}. \quad (9.7)$$

Закон додавання дисперсій зберігається для будь-якого числа доданків. Звідси випливає, що середня квадратична похибка середнього арифметичного складає:

$$S_y = \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (9.8)$$

де  $n$  – кількість даних.

Значення  $S$  також не може бути точним. Воно розраховується з похибкою:

$$S_s = \frac{S}{\sqrt{2 \cdot (n-1)}}.$$

Індекс при  $S$  вказує, про яке значення середнього квадратичного відхилення йдеться. Наприклад, з 95 відсотковою ймовірністю середнє буде перебувати в інтервалі:

$$\bar{x}_{icm} = \bar{x} \pm 1,96 \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}},$$

де 1,96 – число, взяте з таблиць нормального розподілу, відповідає тому, що в 95 випадках з 100 справжнє значення  $x$  буде знаходитися в зазначеному інтервалі.

Якщо невідомо дійсне (істинне) значення  $S_x$  і воно розраховується за кінцевим числом даних  $n$  замість нормального розподілу використовують  $t$  – розподіл Стьюдента, а довірчий інтервал визначають за формулою:

$$\bar{x}_{icm} = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S_x}{\sqrt{n}}. \quad (9.9)$$

Статистичні оцінки випадкової величини – середнє арифметичне  $x$  і стандартне відхилення – розраховують на підставі того, що вибірка  $x_i$  не містить надмірної похибки (промахів). Для виключення промахів з великої вибірки можна скористатися правилом  $2\sigma$ , або  $3\sigma$ . Для різко відмінного значення  $x_n$  розраховують абсолютне значення різниці  $|x_n - x|$ . при довірчій ймовірності 95% відкидають  $x_n$ , якщо  $x_n - x > 2\sigma$ , а при довірчій ймовірності 99,7% – якщо  $x_n - x > 3\sigma$ . При цьому в розрахунок передбачуваний промах не включається.

У збагаченні корисних копалин точність результатів експериментів (дослідів) нерідко буває досить низькою. У зв'язку з цим найважливішою характеристикою результату є похибка.

Як було сказано раніше, всі похибки прийнято поділяти на систематичні, випадкові і промахи. До систематичних відносяться похибки, постійні для даної серії дослідів або ті, що змінюються за певним законом. Зазвичай значення цих похибок і закон їх зміни можна вивчити і визначити кількісно.

До випадкових належать непостійні похибки, поява яких заздалегідь передбачити зазвичай неможливо. Як правило, на випадкові похибки впливає безліч причин та факторів (здебільшого невідомих). Тому при вивченні випадкових похибок розглядаються не закономірності появи похибки кожного випробування, а статистичні закономірності їх появи.

До промахів відносяться особливо великі випадкові похибки (надмірні похибки), що пов'язані з непередбаченою зміною умов експерименту, якості вимірювання і т. п. У ряді випадків причини

промаху можна розкрити. Результати вимірювання, які можуть бути розцінені як промахи, не повинні розглядатися.

Якщо відомий непоправлений результат експерименту (непоправлений результат вимірювання – це результат вимірювання в якому систематичні похибки не вилучені), та відомі систематична і випадкова похибки вимірювання, то гранична похибка складає:

$$\varepsilon_{zp} = \varepsilon_{\theta} + \varepsilon_c.$$

Якщо відомі окремі складові випадкової похибки, то повну випадкову похибку можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{II} = \sqrt{\varepsilon_{\theta 1}^2 + \varepsilon_{\theta 2}^2 + \varepsilon_{\theta 3}^2 + \dots + \varepsilon_{\theta n}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{\theta i}^2}. \quad (9.10)$$

Якщо відомі окремі складові систематичних похибок, то повна систематична похибка становить:

$$\varepsilon_{IIc} = \sum_{j=1}^m \varepsilon_{cj}.$$

Випадкова похибка може бути зменшена багаторазовим повторенням дослідів; при цьому випадкова складова похибки зменшується в  $\sqrt{n}$  раз.

Вплив систематичних похибок на висновки, що отримують із експериментів, більш складний, ніж випадкових. Систематичні похибки можна зменшити збільшенням числа паралельних дослідів. Повинні усуватися причини, що їх викликають. Тому експерименти, які встановлюють абсолютні значення результатів при неліквідованих систематичних похибках, втрачають сенс.

У практиці експерименту часто цікавить не абсолютне, а порівняльне значення результату, коли більш важливою виявляється різниця результатів, ніж їх абсолютне значення. Розрахунок цієї різниці:

$$\Delta x = (x_1 + \varepsilon_{\theta 1} + \varepsilon_c) - (x_2 + \varepsilon_{\theta 2} + \varepsilon_c) = x_1 - x_2 + 2 \cdot \varepsilon_{\theta},$$

призводить до зникнення невинуватої систематичної похибки.

При заданій довірчій ймовірності випадкова похибка розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\theta} = t \cdot S_x. \quad (9.11)$$

Систематична похибка може бути виявлена шляхом порівняння двох серій дослідів, в одному з яких причина, що викликає систематичну похибку, діє, в іншому – відсутня. У кожній серії

розраховуються середні значення результатів  $\bar{x}_1$  і,  $\bar{x}_2$  а також похибки середніх результатів.

Найбільша можлива випадкова похибка різниці не може бути (з ймовірністю 95%) більше, ніж:

$$2 \cdot S_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = 2 \cdot \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}. \quad (9.12)$$

Якщо,  $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > 2 \cdot S_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}$  то є систематична похибка, якщо  $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < 2 \cdot S_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}$ , то можна сказати, що систематична похибка відсутня; можливо, в даному експерименті вона не виявлена і змішана з випадковою.

Фізичні величини, що отримуються в результаті експерименту, можуть перебувати у випадковій залежності одна від одної. Ступінь залежності може бути різною. Коли кожному значенню величини  $x$  відповідає цілком певне значення іншої величини  $y$ , то говорять про функціональну залежність величин  $x$  і  $y$ :  $y = f(x)$ . Однак часто буває і так, що певному значенню величини  $x$  відповідає кілька значень величини  $y$ , які утворюють деякий розподіл. У цьому випадку встановлюється зв'язок між величиною  $x$  і середнім значенням  $y$ . Такі зв'язки між величинами називаються кореляційними.

Для характеристики ступеня та напрямку кореляційних зв'язків вводиться поняття «коефіцієнт кореляції»  $r$ . Це безрозмірна величина, яка приймає для лінійної функції значення  $-1 \leq r \leq 1$ . У разі  $r = 1$  величини  $x$  і  $y$  пов'язані залежністю  $y = k \cdot x + b$ . Додатне або від'ємне значення характеризує напрямок кореляційної залежності.

Теоретичний коефіцієнт кореляції становить:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції розраховується із виразу:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}}.$$

В результаті похибок, допущених в ході експерименту при вимірюванні величин, вигляд кривих, які одержують, дещо

відрізняється від теоретичних. Оскільки похибки при правильній постановці експерименту носять випадковий характер, то на криву залежності двох величин накладаються осциляції, що ускладнюють аналіз функції.

Щоб звести до мінімуму відхилення, що викликані випадковими похибками, застосовують згладжування дослідних даних. При цьому замінюють значення величин в таблиці, що отримані на основі експерименту, новими наближеними значеннями, графік яких близький до реальної кривої.

Згладжування здійснюють за допомогою многочленів, які наближають групи даних за методом найменших квадратів. Найкраще згладжування досягається для значення функцій, що лежать в середині таблиці. Тому беруть непарне число вихідних даних. Зрозуміло, що числові значення на початку і кінці таблиці згладжуються з меншою точністю.

Для перших п'яти значень  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  згладжується значення  $y_3$ , потім береться наступна група значень  $y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$  і згладжується значення функції  $y_4$  і т. д. Потім за окремою формулою згладжуються два початкових і два кінцевих значення функції в таблиці.

Для зручності середнього значення з групи табличних даних присвоюється індекс 0, а симетрично розташованим значенням функції – індекси  $\pm 1; \pm 2$ . Згладжені значення функції  $y$  позначаються  $\tilde{y}$ . Формули лінійного згладжування для групи із трьох значень мають вигляд:

$$\tilde{y}_{-1} = \frac{1}{6} \cdot (5 \cdot y_{-1} + 2 \cdot y_0 - y_1);$$

$$\tilde{y}_0 = \frac{1}{3} \cdot (y_{-1} + y_0 + y_1);$$

$$\tilde{y}_1 = \frac{1}{6} \cdot (5 \cdot y_{-1} + 2 \cdot y_0 - y_1).$$

Формули лінійного згладжування для групи із п'яти значень:

$$\tilde{y}_{-2} = \frac{1}{5} \cdot (3 \cdot y_{-2} + 2 \cdot y_{-1} + y_0 - y_2);$$

$$\tilde{y}_{-1} = \frac{1}{10} \cdot (4 \cdot y_{-2} + 3 \cdot y_{-1} + 2 \cdot y_0 + y_1);$$

$$\tilde{y}_0 = \frac{1}{5} \cdot (y_{-2} + y_{-1} + y_0 + y_1 + y_2);$$

$$\tilde{y}_1 = \frac{1}{10} \cdot (4 \cdot y_{-2} + 3 \cdot y_{-1} + 2 \cdot y_0 + y_1);$$

$$\tilde{y}_2 = \frac{1}{5} \cdot (-y_{-2} + y_0 + 2 \cdot y_1 + 3 \cdot y_2).$$

Існують формули згладжування і для більшої кількості точок, але поширення вони не отримали.

## **9.2. Причини виникнення і методи зменшення систематичних похибок**

Природа і походження систематичних похибок зазвичай обумовлені специфікою конкретного експерименту. Тому виявлення і виключення систематичних похибок багато в чому залежать від експериментатора, від того, наскільки він вивчив умови проведення вимірювання і особливості засобів і методів, що в них застосовуються. Разом з тим існують деякі загальні причини виникнення систематичних похибок, відповідно до яких їх підрозділяють на методичні, інструментальні, статистичні, динамічні та суб'єктивні.

Систематичні похибки можуть залишатися незмінними або закономірно змінюватися. В останньому випадку їх підрозділяють на прогресуючі (зростаючі або спадаючі), періодичні та ті, що змінюються за складним законом. Виявлення причин і джерел систематичних похибок дозволяє вжити заходів до їх усунення, або виключення за допомогою введення поправки.

У деяких випадках використовують поправочний множник – число, на яке множать результат вимірювання для виключення систематичної похибки.

Поправка або поправочний множник визначається за допомогою калібрування технічного засобу, складання і використання відповідних таблиць і графіків. Застосовуються також розрахункові способи знаходження поправочних значень.

Існують спеціальні методи організації вимірювання, що усувають систематичні похибки. До них відносяться, наприклад, метод заміщення і метод компенсації похибки за знаком.

*Метод заміщення* полягає в тому, що величина вимірювання заміщується відомою величиною, яку отримано за допомогою міри регулювання. Якщо таке заміщення проводиться без будь-яких інших змін в експериментальній установці і після заміщення встановлені ті

ж показання приладів, то величина, яка вимірюється, дорівнює відомій величині, значення якої розраховується за вказівником міри регулювання. Цей прийом дозволяє виключити постійні систематичні похибки. Похибка вимірювання при використанні методу заміщення визначається похибкою міри і похибкою, що виникає при відліку значення величини, що заміщає невідому.

*Метод компенсації похибки* за знаком застосовується для виключення систематичних похибок, які в залежності від умов вимірювання можуть входити в результат вимірювання з тим чи іншим знаком (похибка від термоЕРС, від впливу напруженості постійного електричного або магнітного полів і ін.). В цьому випадку можна провести вимірювання двічі так, щоб похибка входила в результати вимірювання один раз з одним знаком, а при повторному вимірі – з протилежним знаком.

Середнє значення з двох отриманих результатів буде остаточною результатом вимірювання, вільним від зазначених вище систематичних похибок.

При проведенні автоматичного вимірювання широко використовуються схемні методи корекції систематичних похибок. Компенсаційне застосування перетворювачів, різні ланцюги температурної і частотної корекції є прикладами їх реалізації.

Останнім часом в вимірювальній техніці широко застосовуються засоби, що містять мікропроцесорні системи. За допомогою останніх вдається виконувати виключення або корекцію багатьох видів систематичних похибок. Автоматичне введення поправок, які пов'язані з неточностями градування, розрахунок і виключення додаткових і динамічних похибок, виключення похибок, що обумовлені зміщенням нуля, – ці та інші коригування дозволяють істотно підвищити точність вимірювання.

Слід, однак, зауважити, що частина систематичних похибок, незважаючи на всі зусилля фахівців, залишається присутньою. Ця частина похибки входить в результат вимірювання і спотворює його. Вона може бути оцінена, якщо враховувати відомості про метрологічні характеристики технічних засобів, що використовуються. Якщо таких відомостей недостатньо, то можна використовувати результати порівняння значень вимірювання з аналогічними результатами, отриманими в інших лабораторіях.

### ***Контрольні питання***

- 1. Яка фізична властивість середньої величини?*
- 2. Чим відрізняються поміж собою середнє значення випадкової величини і математичне сподівання?*
- 3. Чим відрізняються поміж собою середнє значення випадкової величини і найбільш ймовірне її значення?*
- 4. Що собою представляють числові характеристики випадкових величин?*
- 5. Наведіть методи зменшення систематичних похибок.*

## 10. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ БАЛАНС, ЯК ОСНОВНИЙ ДОКУМЕНТ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЄ ВИРОБНИЦТВО

*Мета розділу: показати способи розрахунку технологічного балансу, та засоби підвищення його точності.*

У практиці збагачення корисних копалин завжди зустрічаються параметри, що характеризують продукти, та які вимірювати порівняно легко, інші, навпаки, вимірювати значно складніше. Найскладніше на фабриці проводиться вимірювання витрат продуктів збагачення – концентратів і відходів (хвостів). Це, як правило, пульпові продукти, що насичені пухирцями повітря та вкрай нестаціонарні в часі. Тому, їх витрати не вимірюються, а розраховуються з використанням інформації про якісний склад цих продуктів. Для цього складаються рівняння технологічного балансу, що є основним документом, який дозволяє визначити всі витрати на виробництві. Для складання цього балансу необхідно знати масову частку (вміст) корисного компонента у початковому продукті  $\alpha$  (живлення), та у продуктах розділення ( $\beta$  у концентраті,  $\nu$  у відходах), а також витрату сировини  $Q$  на початку технології. Забезпечення заданих показників якості продуктів розділення на фабриці досягається постійним контролем.

Контролювати ж необхідно ті продукти, які дозволяють розрахувати технологічний баланс. Ця вимога оформляється математично у вигляді системи рівнянь, кількість незалежних коефіцієнтів у яких дорівнює кількості змінних.

Збагачувальну фабрику в цілому можна уявити як оди-ний технологічний блок бінарного розділення.

Баланс продуктів збагачення корисних копалин записується у вигляді двох рівнянь:

$$\begin{cases} Q = Q_K + Q_B \\ Q \cdot \alpha = Q_K \cdot \beta + Q_B \cdot \nu \end{cases} \quad (10.1)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  – вміст цінного компонента, відповідно, у початковому продукті, концентраті і відходах, %;  $Q$ ,  $Q_K$ ,  $Q_B$  – витрата потоків відповідно початкового продукту, концентрату та відходів,  $кг/с$  або  $т/год$ .

Перше рівняння називається рівнянням балансу маси продукту, що підлягає збагаченню, а саме: скільки продукту надійшло на збагачення, таку ж кількість отримаємо в концентраті та відходах.

Друге рівняння називається рівнянням балансу маси цінного компоненту, а саме: кількість цінного компоненту в початковому продукті дорівнює сумі цінного компоненту у концентраті та відходах.

За умови нормальної експлуатації збагачувального виробництва в процесі випробування отримують наступні показники: витрату потоку початкового продукту ( $Q$ ) та вміст цінного компонента, відповідно, у початковому продукті, концентраті і відходах ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ ). Тоді, кількість отриманого концентрату та відходів розраховують при вирішенні системи рівнянь 10.1 відповідно до необхідного продукту, та отримують наступні вирази:

$$Q_K = Q \cdot \frac{\alpha - \nu}{\beta - \nu}; \quad (10.2)$$

$$Q_B = Q \cdot \frac{\beta - \alpha}{\beta - \nu}. \quad (10.3)$$

Величина  $Q$  – витрати початкового продукту, зазвичай, вимірюється на фабриці стрічковими вагами.

Крім технологічного балансу є і товарний, який складають як на основі аналізу якості, так і на основі кількості, тобто зважування. Зазвичай зважити всі початкові продукти можна тільки під час їх надходження на фабрику, а вихідні – при відвантаженні з фабрики, і то лише концентрати. Часто між отриманою кількістю концентрату за виразом 10.2 та кількістю концентрату, що відвантажено є різниця, яку називають неузгодженістю.

Різниця виникає тому, що товарний баланс описує стан всієї фабрики, а технологічний баланс може бути складений для будь-якої, навіть малої частини технологічного процесу (але найчастіше операції збагачення).

Для зниження неузгодженості необхідно підвищувати точність випробування і контролю, застосовувати більш досконалі методи і прилади.

### **10.1. Визначення виходу концентрату за середніми даними**

На збагачувальному підприємстві, зазвичай, визначається не витрати продуктів, а вихід (один із показників збагачення).

*Вихід* продукту – показник, що показує яка частина продукту за масою чи витратою відповідно до початкового складає продукт

збагачення. Позначається грецькою літерою  $\gamma$  (гамма), має розмірність долі одиниць, або відсотки, та визначається із виразу:

$$\gamma_i = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{m_i}{m_0},$$

де  $Q_0, Q_i$  ( $m_0, m_i$ ) – витрата потоків (маса) початкового продукту та  $i$ -того продукту збагачення

На збагачувальному підприємстві, згідно з технологічному регламенту, ведеться погодинне випробування. В результаті накопичується велика кількість показників. Показники складаються із трьох випадкових процесів, і всі три процеси стаціонарні. Далі проводиться осереднення кожної величини за даний проміжок часу  $i$ , потім визначається осереднене методом ковзного середнього. Тоді вихід продукту буде розраховано за середніми даними:

$$\bar{\alpha}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \alpha_i; \quad \bar{\beta}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \beta_i; \quad \bar{\nu}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \nu_i; \quad \gamma_j = \frac{\bar{\alpha}_j - \bar{\nu}_j}{\bar{\beta}_j - \bar{\nu}_j}; \quad n = 1, 2, \dots \quad (10.4)$$

При  $n \rightarrow \infty$  дисперсія прагне до нуля.

Істинне значення виходу продукту можна отримати тільки за великий проміжок часу, за умови стаціонарності процесів  $\bar{\alpha}_n = \text{const}$ ,  $\bar{\beta} = \text{const}$ ,  $\bar{\nu} = \text{const}$ .

## 10.2. Обчислення виходу концентрату за миттєвими значеннями аргументів

Проводиться обчислення виходу на підставі миттєвих значень показників:

$$\gamma_i = \frac{\alpha_i - \nu_i}{\beta_i - \nu_i}, \quad (10.5)$$

і потім проводиться осереднення виходу:

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \gamma_i \quad (10.6)$$

В такому разі, значення виходу, як правило, буде меншим у порівнянні із першим випадком.

### 10.3. Обчислення виходу концентрату з урахуванням часу еквівалентного запізнення

Третій випадок розглядається з позиції статичної динаміки. Випадковий процес повністю характеризується кореляційними функціями. Для отримання достовірної інформації необхідно данні розрахунку приймати відповідно до пори еквівалентного запізнення  $\tau_{xy}$  яке відповідає найбільшому абсолютному значенню взаємкореляційної функції. Так для процесів  $\alpha_n, \beta_k - \tau_{\alpha\beta}$ , а для  $\alpha_n, v_b - \tau_{\alpha v}$ . З огляду на це вихід продукту розраховується за співвідношенням:

$$\gamma_k = \frac{\alpha_i - v_{i+n1}}{\beta_{i+n2} - v_{i+n1}}; \quad n_1 = \frac{\tau_{\alpha v}}{\Delta t}; \quad n_2 = \frac{\tau_{\alpha\beta}}{\Delta t}, \quad (10.7)$$

де  $\Delta t$  – одиниця часу (1; 0,5 год і т. д.).

До розрахунку приймаються миттєві (часові) спостереження, що зміщені на періоди еквівалентного запізнювання за відношеннями до значення вихідного продукту відповідно до якості (вмісту цінного мінералу) концентрату і відходів.

Оскільки для технології збагачення є закон, що із збільшенням  $\alpha_n$  збільшується  $\beta_k$  та  $v_b$ , то кореляція між  $\alpha_n, v_b$  і між  $\alpha_n, \beta_k$  додатна. Розраховані шляхом осереднення значення виходу  $\gamma_i$  завжди менше дійсних (істинних) значень:  $\gamma_{di} > \gamma_i$ . Зі збільшенням часу осереднення різниця знижується, і, тільки при  $n \rightarrow \infty, \gamma_{di} - \gamma_i \rightarrow 0$ .

Коли зроблена вибірка результатів з урахуванням запізнювання, то значення виходу виходить більше, ніж те що розраховане за середніми показниками.

Оскільки витримати умову стаціонарності протягом декількох днів ніколи не вдається, то завжди спостерігається умова  $\gamma_{di} > \gamma_i$ .

Виявляється ця розбіжність лише за умови, що звітність технологічного балансу частіша, ніж звітність за товарним балансом. Технологічний баланс проводиться на підставі розрахунку виходу, а товарний баланс проводиться за результатами зважування майже сухої маси, тому має меншу похибку.

Невідповідність в оцінках виходу за результатами розрахунку технологічного балансу і виміряного товарного балансу призводить до появи неврахованого продукту, тобто до неузгодженості.

Головним джерелом неузгодженості є саме її методика розрахунку. Цю методику зручно характеризувати вже усередненим виходом з урахуванням еквівалентного запізнювання.

В результаті неузгодженість може бути оцінена як:

$$\Delta = K_{ex} \cdot (\gamma_d - \gamma), \quad (10.8)$$

де  $K_{ex} = \int_0^T Q(t) dt$  – обсяг сировини, що прийшов на збагачувальну фабрику;  $Q(t)$  – витрата сировини, яка фіксується вихідним контролем.

Неузгодженість повинна бути негативною (від'ємною), тобто кількість продукту на виході фабрики не може перевищувати масу початкового продукту, що надійшов на фабрику. Від'ємна неузгодженість відповідає неврахованим механічним втратам, а плюсова (додатна) – появі надлишків цінного компоненту.

#### 10.4. Обробка даних випробування з урахуванням кореляційних зв'язків

Технологія збагачення на збагачувальній фабриці складається з декількох технологічних секцій (рис.10.1), кожна з яких має технологію збагачення стадіальної структури.

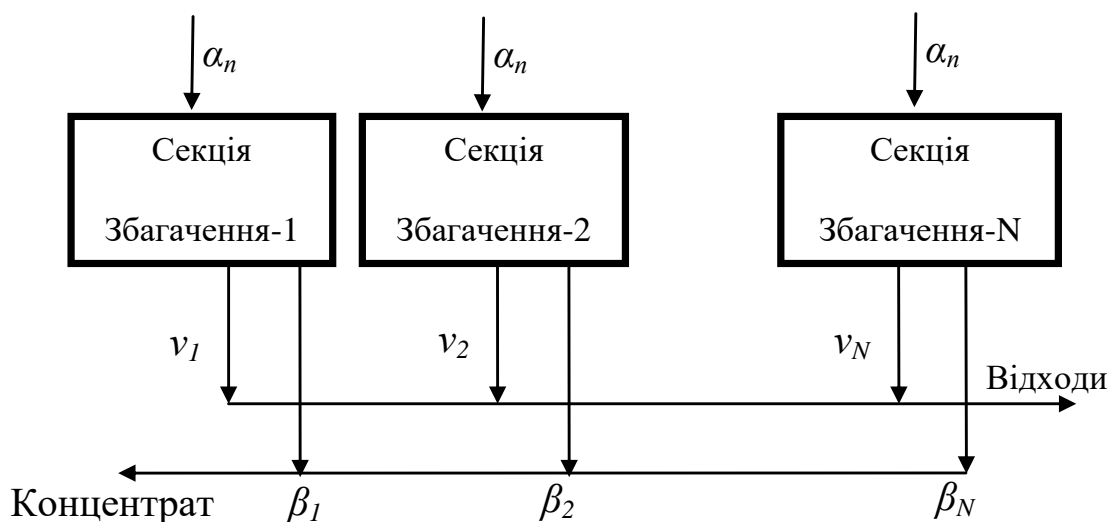


Рисунок 10.1. – Схема технології збагачувальної фабрики

Структуру секції схематично можна представити як (рис.10.2):

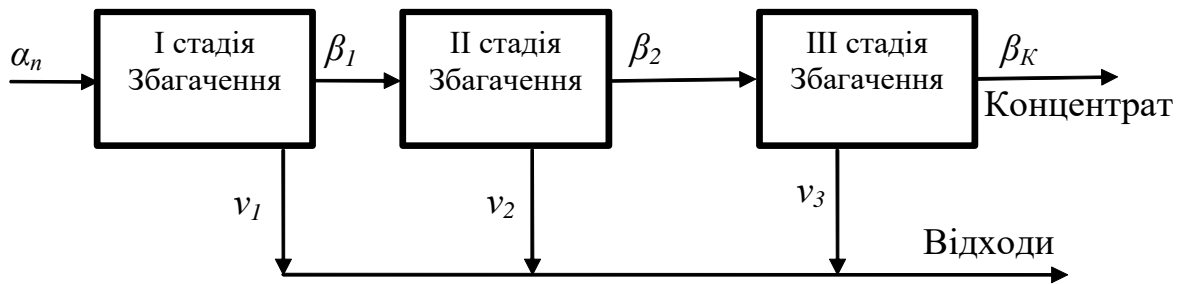


Рисунок 10.2. – Схематична структура секції збагачення

В технології збагачення лежить закон бінарного розділення, і на підставі технологічного балансу була отримана формула виходу концентрату:

$$\gamma = \frac{\alpha - \nu}{\beta - \nu}.$$

Але в зв'язку з тим, що вона отримана в умовах абсолютної стаціонарності процесів, її практична реалізація не відповідає миттєвим значенням показників. Тісний кореляційний зв'язок між  $\alpha_n$  і усіма проміжними продуктами очевидна, тому немає необхідності вести контроль показників,  $\beta_1, \beta_2$  та  $\nu_1, \nu_2$  між процесами збагачення на збагачувальних апаратах. Достатнім буде контролювати якість на початку і на виході, але обов'язково з урахуванням еквівалентного запізнювання, тому що з моменту надходження сировини на збагачувальну фабрику і до отримання концентрату проходить значна кількість часу.

За даною методикою випробування необхідно проводити на початку і на виході технологічного блоку. Так як розділення бінарне, то це будуть показники  $\alpha_n$  (на початку) і  $\beta_k, \nu_e$  (на виході). Але головне завдання полягає в тому, щоб визначити найбільш раціональний кореляційний зв'язок між цими показниками, при якій дисперсія буде мінімальною.

Розглянемо три випадкових стаціонарних процесів, складених на підставі погодинного випробування.

Як зазначено раніше, для отримання достовірної інформації про дійсне значення виходу продукту, дані для розрахунку необхідно приймати відповідно еквівалентного запізнювання  $\tau_{xy}$ , яке відповідає найбільшому абсолютному значенню взаємкореляційної функції, що розраховується за формулою:

$$K_{xy}(m) = \frac{1}{N-m} \cdot \sum_{i=1}^{N-m} ((x_i - \bar{x}) \cdot (x_{i+m} - \bar{x})), \quad (10.9)$$

де  $m$  – аргумент функції,  $x_i$  – випадковий процес;  $\bar{x}$  – середнє значення;  $N$  – кількість випробувань,  $x_i - \bar{x}$  – перша центрована величина.

Перший екстремум цієї функції відповідає часу еквівалентного запізнювання  $\tau_{xy}$ .

Так як між величинами  $\alpha_n$ ,  $\beta_k$ ,  $v_b$ , існують свої кореляційні зв'язки, то нам необхідно визначити найбільш точні значення для розрахунку виходу.

За результатами технологічних випробувань (кожні 2 год.) для ПівнГЗК були обчислені взаємкореляційні функції, що наведені у табл. 10.1 і визначені еквівалентні запізнення ( $\tau_{\alpha v} = 2$  год.,  $\tau_{\beta v} = 2$  год.,  $\tau_{\alpha\beta} = 2$  год.).

Таблиця 10.1. – Результати обчислення кореляційних функцій

Значення $m$		0	1	2	3	4
$\alpha\beta$	$K_{xy}$	-0,0716	-0,1938	0,1829	-137,3483	-9,4222
	$\tau_{\alpha\beta}$	2				
$\alpha v$	$K_{xy}$	-0,0511	-0,0683	1,8565	-160,3207	-10,3532
	$\tau_{\alpha v}$	2				
$\beta v$	$K_{xy}$	0,0915	0,4675	2,2018	-0,6086	2,1464
	$\tau_{\beta v}$	2				

Розраховуємо виходи продукту за наступними співвідношеннями:

$$\gamma_i^{\alpha\beta/\alpha v} = \frac{\alpha_i - v_{i+n1}}{\beta_{i+n2} - v_{i+n1}}; \quad n_1 = \frac{\tau_{\alpha v}}{\Delta t}; \quad (10.10)$$

$$\gamma_i^{\alpha\beta/\beta v} = \frac{\alpha_i - v_{i-n3}}{\beta_{i+n2} - v_{i+n3}}; \quad n_2 = \frac{\tau_{\alpha\beta}}{\Delta t}; \quad (10.11)$$

$$\gamma_i^{\alpha v/\beta v} = \frac{\alpha_i - v_{i+n2}}{\beta_{i+n3} - v_{i+n2}}; \quad n_3 = \frac{\tau_{\beta v}}{\Delta t}; \quad (10.12)$$

Погодинне випробування (з урахуванням еквівалентного запізнювання) схематично виглядає так, як показано на рис. 10.3.

Наприклад, для визначення  $\gamma$  ( $\alpha v$ ,  $\beta v$ ). Перша проба береться о першій годині дня, проба хвостів через дві години після цього і проба

концентрату через чотири години. За результатами цих випробувань розраховується вихід концентрату.

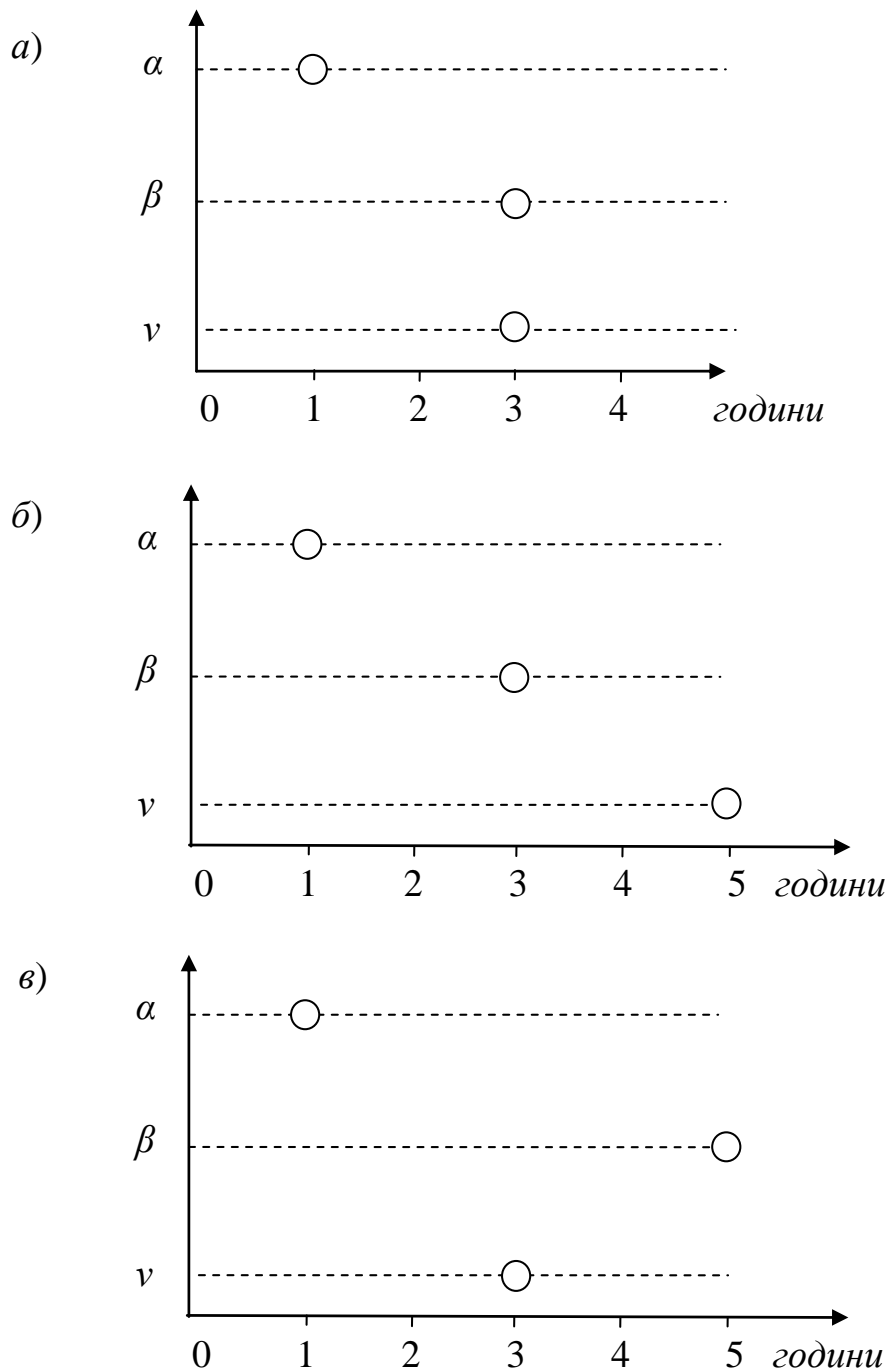


Рисунок 10.3. – Схеми погодинного випробування

○ – випробування відповідного потоку продукту;

а) – визначення  $\gamma(\alpha\beta, \alpha\gamma)$  (випробування  $\alpha_n$ , через 2 год –  $\beta$ ,  $\gamma$ );

б) – визначення  $\gamma(\alpha\beta, \beta\gamma)$  (випробування  $\alpha_n$ , через 2 год –  $\beta$ , через 4 год  $\gamma$ );

в) – визначення  $\gamma(\alpha\gamma, \beta\gamma)$  (випробування  $\alpha_n$ , через 2 год –  $\gamma$ , через 4 год.  $\beta$ ).

Виконуємо всі необхідні розрахунки, і визначаємо чисельні значення виходів концентрату. Розраховуються їх дисперсії, за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{N}, \quad (10.13)$$

де  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ;  $N$  – кількість випробувань, од.;  $x_i$  – випадковий процес;  $x_{cp}$  – математичне очікування.

Після цього отримуємо такі значення:

$$\gamma(\alpha\beta \setminus \alpha\nu) = 0,465, \quad \sigma^2 = 0,024;$$

$$\gamma(\alpha\beta \setminus \beta\nu) = 0,454, \quad \sigma^2 = 0,019;$$

$$\gamma(\alpha\nu \setminus \beta\nu) = 0,447, \quad \sigma^2 = 0,020;$$

Робимо висновок, що найбільш вдалим варіантом буде розрахунок значення виходу продукту між процесами  $\alpha\beta$  і  $\beta\nu$  (рис. 10.3, б.), тому що дисперсія в цьому випадку мінімальна. Ці результати підтверджуються розрахунком виходу методом змінного середнього (додаток А. таблиця А.1) за наступною формулою:

$$\beta_i^{(n)} = \frac{\beta_i + \beta_{i+1}}{n}, \quad (10.14)$$

де  $n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $\beta_i$  – поточне значення якісного показника.

Якщо розглядати проектування нової технологічної лінії, то для її реалізації необхідно знати всі точні витрати продуктів на кожному збагачувальному апараті, так як значення виходів представляють технологічний баланс. Тому показники якості визначають у всіх вхідних і вихідних продуктах.

Для складання технологічного балансу необхідна кількість рівнянь визначається з рівнянь балансу маси продуктів і рівнянь балансу цінного компоненту, наприклад, збагаченого і збідненого продуктів. Так для схеми, що зображена на рис. 10.4, можемо скласти лише шість рівнянь витрат:

$$\begin{aligned} Q_1 + Q_6 &= Q_2 + Q_7; & Q_2 + Q_5 &= Q_6 + Q_3 + Q_8; & Q_3 &= Q_4 + Q_5 + Q_9; \\ Q_2 &= Q_4 + Q_6 + Q_9 + Q_8; & Q_1 &= Q_4 + Q_7 + Q_9 + Q_8; & Q_1 + Q_5 &= Q_7 + Q_3 + Q_8. \end{aligned}$$

Якщо розділити всі величини на витрату початкового продукту, отримаємо рівняння абсолютних виходів:

$$1 + \gamma_6 = \gamma_2 + \gamma_7; \quad \gamma_2 + \gamma_5 = \gamma_6 + \gamma_3 + \gamma_8; \quad \gamma_3 = \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_9;$$

$$\gamma_2 = \gamma_4 + \gamma_6 + \gamma_9 + \gamma_8; \quad 1 = \gamma_4 + \gamma_7 + \gamma_9 + \gamma_8; \quad 1 + \gamma_5 = \gamma_7 + \gamma_3 + \gamma_8.$$

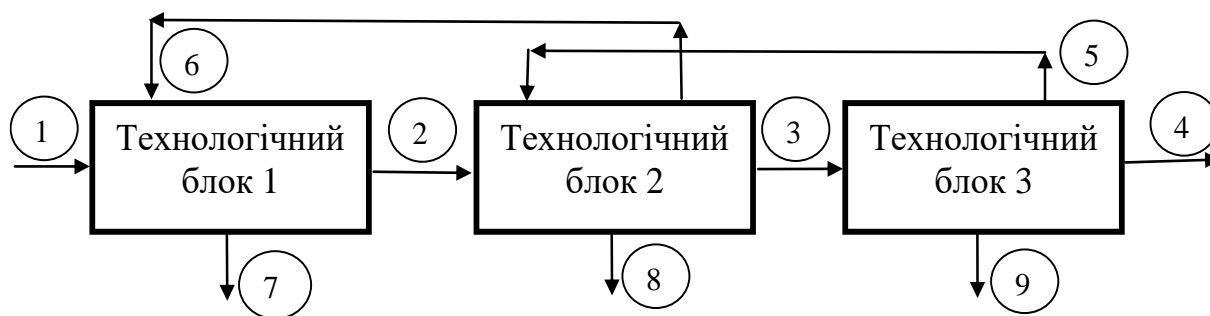


Рисунок 10.4 – Схематична структура збагачувального процесу

Чим більша кількість блоків, тим більша кількість рівнянь балансу можна скласти. Оскільки в цих рівняннях коефіцієнти рівні одиницям, то необхідно цю систему доповнити такими, в яких є відмінні від одиниці коефіцієнти. Це будуть рівняння балансу цінного компоненту (фракції):

$$\begin{aligned} \alpha_n + \beta_6\gamma_6 &= \beta_2\gamma_2 + \beta_7\gamma_7; & \beta_2\gamma_2 + \beta_5\gamma_5 &= \beta_6\gamma_6 + \beta_3\gamma_3 + \beta_8\gamma_8; \\ \beta_3\gamma_3 &= \beta_4\gamma_4 + \beta_5\gamma_5 + \beta_9\gamma_9; & \beta_2\gamma_2 &= \beta_4\gamma_4 + \beta_6\gamma_6 + \beta_9\gamma_9 + \beta_8\gamma_8; \\ \alpha_n &= \beta_4\gamma_4 + \beta_7\gamma_7 + \beta_9\gamma_9 + \beta_8\gamma_8; & \alpha_n &= \beta_4\gamma_4 + \beta_6\gamma_6 + \beta_9\gamma_9 + \beta_8\gamma_8. \end{aligned}$$

Таким чином, кількість рівнянь навіть більше, ніж потрібно. Тому завжди можна скласти необхідну систему, виконати розрахунок та отримати значення виходів продуктів.

Для коректного складання системи рівнянь необхідно проводити випробування з урахуванням часу еквівалентного запізнювання. З цією метою повинні бути накопичені ряди чергових проб у всіх точках технології. В даному випадку у 9 точках. Після чого, розраховуються взаємкореляційні функції для деяких пар величин.

Таблиця 10.2. – Значення взаємкореляційних функцій (рис. 10.4)

$1 + \gamma_6 = \gamma_2 + \gamma_7$	12	17	16	
$\gamma_2 + \gamma_5 = \gamma_6 + \gamma_3 + \gamma_8$	23	25	26	28
$\gamma_3 = \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_9$	34	35	39	
$\gamma_2 = \gamma_4 + \gamma_6 + \gamma_9 + \gamma_8$	24	26	28	29
$1 = \gamma_4 + \gamma_7 + \gamma_9 + \gamma_8$	14	17	18	19
$1 + \gamma_5 = \gamma_7 + \gamma_3 + \gamma_8$	13	15	17	18

Кореляційні функції слід підбирати за кожним рівнянням системи. Таким чином, якість концентрату буде визначитися з максимальною правдоподібністю.

### 10.5. Виходи багатовимірного розділення

Коли технологія розділення має більше двох вихідних потоків, то визначення виходу кожного із продуктів стає проблематичним. Необхідно формувати змішання потоків, що не завжди вдається, або пов'язане з ремонтом самої технології.

Інший спосіб пов'язаний зі значною роботою із випробування, але зате ніяких монтажних робіт не потрібно. Припустимо є технологія розділення (рис. 10.5).

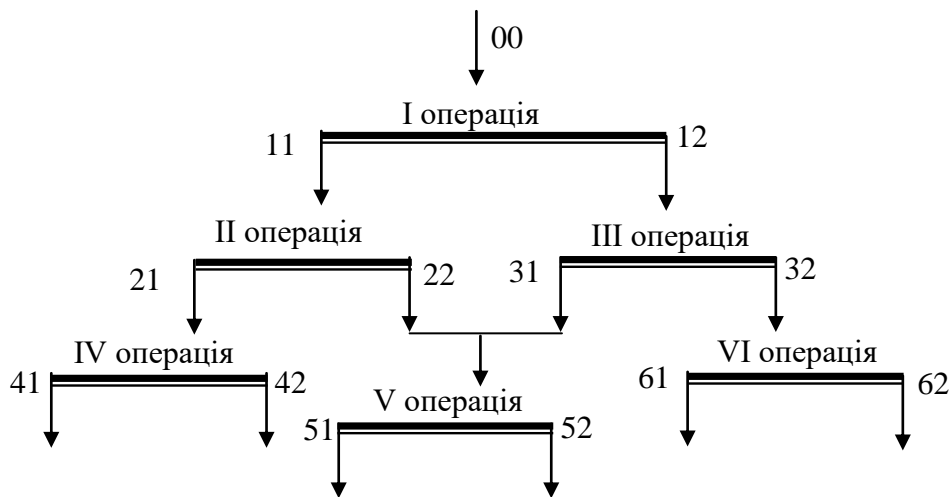


Рисунок 10.5 – Схема розділення

Припустимо, проведено випробування всіх 13 потоків і отримані результати аналізу якісних показників:

$$\beta_{00} = 0,3; \beta_{11} = 0,45; \beta_{12} = 0,2; \beta_{21} = 0,5; \beta_{22} = 0,4; \beta_{31} = 0,25; \beta_{32} = 0,15; \beta_{41} = 0,52; \beta_{42} = 0,47; \beta_{51} = 0,35; \beta_{52} = 0,2; \beta_{61} = 0,17; \beta_{62} = 0,13.$$

В даній схемі можна безпосередньо розрахувати часткові виходи в 1-ій, 2-ій, 3-ій, 4-ій і 6-ій операціях розділення. На 5-у операцію розділення надходить два потоки, тому попередньо необхідно визначити значення якості продукту, яке на нього надходить.

Ці часткові виходи знаходимо за відомою формулою двовимірного розділення:

$$\gamma_{11}^y = \frac{\beta_{00} - \beta_{12}}{\beta_{11} - \beta_{12}}; \quad \gamma_{12}^y = 1 - \gamma_{11}^y;$$

$$\begin{aligned} \gamma_{21}^u &= \frac{\beta_{11} - \beta_{22}}{\beta_{21} - \beta_{22}}; & \gamma_{22}^u &= 1 - \gamma_{21}^u; \\ \gamma_{31}^u &= \frac{\beta_{12} - \beta_{32}}{\beta_{31} - \beta_{32}}; & \gamma_{32}^u &= 1 - \gamma_{31}^u; \\ \gamma_{41}^u &= \frac{\beta_{21} - \beta_{42}}{\beta_{41} - \beta_{42}}; & \gamma_{42}^u &= 1 - \gamma_{41}^u; \\ \gamma_{61}^u &= \frac{\beta_{32} - \beta_{62}}{\beta_{61} - \beta_{62}}; & \gamma_{62}^u &= 1 - \gamma_{61}^u. \end{aligned}$$

Для знаходження якості продукту, що надходить на 5-у операцію розділення спочатку розрахуємо загальні виходи продукту 22 та 31. Загальний вихід продукту дорівнює добутку часткових виходів за шляхом проходження продукту, тобто:

$$\gamma_{22} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u; \quad \gamma_{32} = \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u.$$

А потім із рівняння цінного компоненту для операції змішування, яке має вигляд:

$$(\gamma_{22} + \gamma_{31}) \cdot \beta_{2231} = \gamma_{22} \cdot \beta_{22} + \gamma_{31} \cdot \beta_{31},$$

знаходимо значення якості продукту 2231:

$$\beta_{2231} = \frac{\gamma_{22} \cdot \beta_{22} + \gamma_{31} \cdot \beta_{31}}{\gamma_{22} + \gamma_{31}}.$$

Тоді, часткові виходи для 5-ої операції будуть рівні:

$$\gamma_{51}^u = \frac{\beta_{2231} - \beta_{52}}{\beta_{51} - \beta_{52}}; \quad \gamma_{52}^u = 1 - \gamma_{51}^u.$$

Загальні виходи знаходяться відповідно того, що їх значення дорівнює добутку часткових виходів за шляхом проходження матеріалу, тобто:

$$\begin{aligned} \gamma_{41} &= \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^u \cdot \gamma_{41}^u; & \gamma_{42} &= \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^u \cdot \gamma_{42}^u; \\ \gamma_{61} &= \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{32}^u \cdot \gamma_{61}^u; & \gamma_{62} &= \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{32}^u \cdot \gamma_{62}^u; \\ \gamma_{51} &= \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u \cdot \gamma_{51}^u + \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u \cdot \gamma_{51}^u; & \gamma_{52} &= \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u \cdot \gamma_{52}^u + \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u \cdot \gamma_{52}^u. \end{aligned}$$

Якщо підставити значення  $\beta$ , то отримаємо наступні значення виходів:

$$\begin{aligned} \gamma_{11}^u &= \frac{\beta_{00} - \beta_{12}}{\beta_{11} - \beta_{12}} = \frac{0,3 - 0,2}{0,45 - 0,2} = 0,4; & \gamma_{12}^u &= 1 - \gamma_{11}^u = 1 - 0,4 = 0,6; \\ \gamma_{21}^u &= \frac{\beta_{11} - \beta_{22}}{\beta_{21} - \beta_{22}} = \frac{0,45 - 0,4}{0,5 - 0,4} = 0,5; & \gamma_{22}^u &= 1 - \gamma_{21}^u = 1 - 0,5 = 0,5; \end{aligned}$$

$$\gamma_{31}^u = \frac{\beta_{12} - \beta_{32}}{\beta_{31} - \beta_{32}} = \frac{0,2 - 0,15}{0,25 - 0,15} = 0,5; \quad \gamma_{32}^u = 1 - \gamma_{31}^u = 1 - 0,5 = 0,5;$$

$$\gamma_{41}^u = \frac{\beta_{21} - \beta_{42}}{\beta_{41} - \beta_{42}} = \frac{0,5 - 0,47}{0,52 - 0,47} = 0,6; \quad \gamma_{42}^u = 1 - \gamma_{41}^u = 1 - 0,6 = 0,4;$$

$$\gamma_{61}^u = \frac{\beta_{32} - \beta_{62}}{\beta_{61} - \beta_{62}} = \frac{0,15 - 0,13}{0,17 - 0,13} = 0,5; \quad \gamma_{62}^u = 1 - \gamma_{61}^u = 1 - 0,5 = 0,5.$$

Знаходимо загальні виходи продукту 2232:

$$\gamma_{22} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2; \quad \gamma_{32} = \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3.$$

Знаходимо вміст корисного мінералу в продукті 2231 за виразом:

$$\beta_{2231} = \frac{\gamma_{22} \cdot \beta_{22} + \gamma_{31} \cdot \beta_{31}}{\gamma_{22} + \gamma_{31}} = \frac{0,2 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,25}{0,2 + 0,3} = 0,31;$$

$$\gamma_{51}^u = \frac{\beta_{2231} - \beta_{52}}{\beta_{51} - \beta_{52}} = \frac{0,31 - 0,2}{0,1 - 0,2} = 0,733; \quad \gamma_{52}^u = 1 - \gamma_{51}^u = 1 - 0,733 = 0,267.$$

Знаходимо значення загальних виходів кінцевих продуктів:

$$\gamma_{41} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^u \cdot \gamma_{41}^u = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 0,12;$$

$$\gamma_{42} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^u \cdot \gamma_{42}^u = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 0,08;$$

$$\gamma_{51} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u \cdot \gamma_{51}^u + \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u \cdot \gamma_{51}^u = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,733 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot 0,733 = 0,367;$$

$$\gamma_{52} = \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{22}^u \cdot \gamma_{52}^u + \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{31}^u \cdot \gamma_{52}^u = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,267 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot 0,267 = 0,133;$$

$$\gamma_{61} = \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{32}^u \cdot \gamma_{61}^u = 0,6 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,15;$$

$$\gamma_{62} = \gamma_{12}^u \cdot \gamma_{32}^u \cdot \gamma_{62}^u = 0,6 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,15.$$

**Перевірка:** Сума загальних виходів продуктів, що виходять зі схеми розділення, повинна бути рівною одиниці.

$$\gamma_{41} + \gamma_{42} + \gamma_{51} + \gamma_{52} + \gamma_{61} + \gamma_{62} = 0,12 + 0,08 + 0,367 + 0,133 + 0,15 + 0,15 = 1,0.$$

Отже, виходи продуктів визначено правильно.

### **Контрольні питання**

1. Запишіть рівняння балансу продуктів збагачення корисних копалин.
2. Надайте визначення показнику вихід продукту та наведіть вираз, за яким він розраховується.
3. Наведіть причину виникнення неузгодженості.
4. Обчисліть кореляційні функції для процесів, що задані в таблиці 10.1.

## 11. ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

*Мета розділу: визначення умов, які дають можливість встановлювати достатню точність вимірів у залежності від характеристик технологічних процесів.*

В управлінні якістю продукції важливу роль відіграє організація раціонального і ефективного контролю.

Припустимо, є технологічна схема збагачення корисних копалин (рис. 11.1).

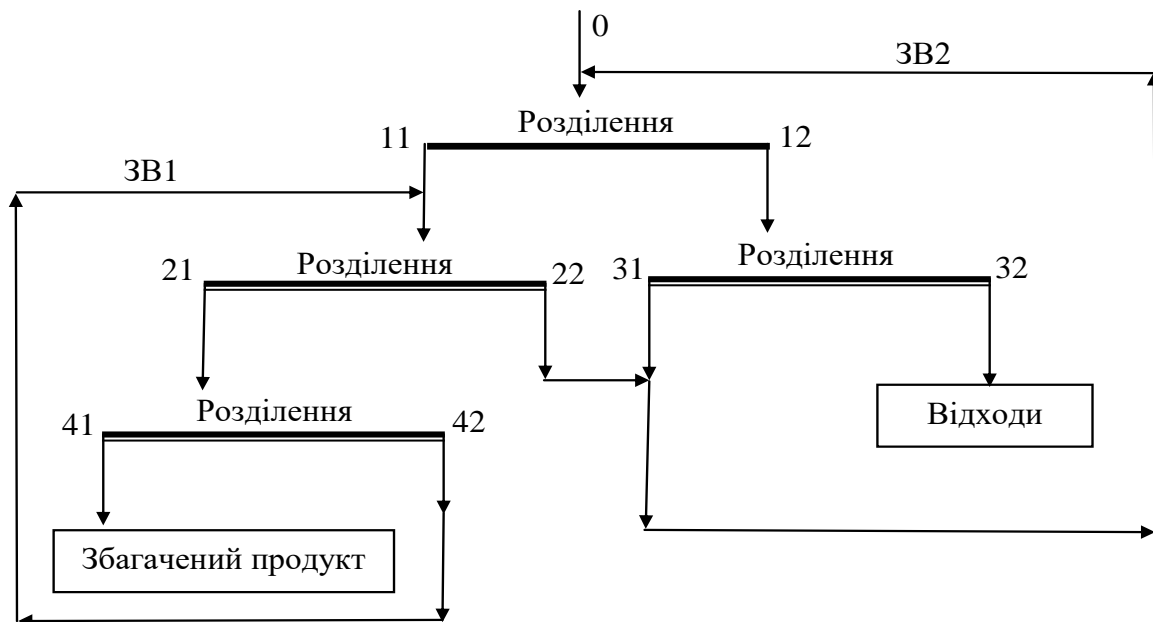


Рисунок. 11.1. – Складна технологічна схема збагачення

Розрахуємо показники збагачення за допомогою сепараційних характеристик. Для цього задаємося функцією розподілу частинок  $F(\alpha)$  (табл. 11.1) за вмістом в них цінного компонента  $\alpha$ , а також сепараційних характеристик  $P(\alpha)$ , яку приймемо для всіх апаратів ідентичною (однаковою).

Таблиця 11.1. – Значення сепараційної характеристики  $P(\alpha)$  та диференційної функції розподілу частинок  $F(\alpha)$

$\alpha$	0	0,125	0,325	0,625	0,875	1,0
$P(\alpha)$	0,12	0,14	0,37	0,75	0,9	0,92
$\Delta F(\alpha)$	0,2	0,2	0,25	0,15	0,1	0,1

Результати розрахунку наведені в табл. 11.2, де номер стовпця  $j$  відповідає номеру продукту технологічної схеми на рис.11.1, а номер рядка – номеру фракції  $\alpha_i$ . Решта осередків включають розподіл фракцій в відповідних точках схеми. Рядок матриці рішення відповідає розподілу фракції за всіма продуктами схеми. Сума елементів стовпця дає загальний вихід продукту в точці схеми технології.

Таблиця 11.2. – Розрахункові дані технологічної схеми

$\alpha_i$	Номер продукту технологічної схеми							
	11	12	21	22	31	32	41	42
0	0,0309	0,2267	0,0041	0,0304	0,0272	0,1995	0,0005	0,0037
0,125	0,0377	0,2316	0,006	0,0369	0,0324	0,19916	0,00084	0,0052
0,375	0,1998	0,3402	0,0964	0,1641	0,1259	0,21433	0,03567	0,0607
0,625	0,1934	0,0645	0,1785	0,0595	0,0483	0,01612	0,13388	0,0446
0,875	0,111	0,0123	0,1097	0,0122	0,0111	0,00123	0,09877	0,011
1,0	0,1086	0,0094	0,1079	0,0094	0,0087	0,00076	0,09924	0,0086

Для визначення якісного показника  $\beta$  в будь-якій точці схеми досить кожен елемент  $j$  стовпця помножити на якісний показник  $\alpha_j$ , отримані результати добутку скласти і розділити на вихід даного продукту. Розраховані таким чином вихід продукту та вміст корисного мінералу наведені в табл. 11.3.

Таблиця 11.3. – Вихід продукту та вміст в ньому корисного мінералу технологічної схеми збагачення

	Номер точки технологічної схеми $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
Вихід продукту, $(\gamma_i^l)$ д. од.	0,681	0,885	0,503	0,312	0,254	0,631	0,369	0,134
Вміст корисного мінералу, $(\beta_i^l)$ д. од.	0,5815	0,2261	0,6914	0,3686	0,3689	0,1687	0,7618	0,4972

Таким чином, для будь-якого складного випадку з'єднання завжди можна отримати розрахункові значення якісно-кількісних показників.

Продукт під номером 31 є збагачений, а під номером 42 – збіднений. Сума виходів цих продуктів дорівнює одиниці, що і отримано в результаті розрахунку.

На чисельні значення кінцевих показників збагачення зазвичай накладені обмеження, які продиктовані або замовником, або світовими досягненнями галузі, наприклад  $\beta - \Delta\beta \leq \beta \leq \beta + \Delta\beta$ .

Апріорі відомо, що чим вище точність контролю якісних показників, тим точність розрахунку кількісних показників буде вище.

З диференціального обчислення слід, що похибка функції  $\sigma_\gamma^2$  визначається на підставі похибок аргументів  $\sigma_{\beta_i}^2$ , тобто:

$$\sigma_\gamma^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \gamma}{\partial \beta_i} \right)^2 \sigma_{\beta_i}^2,$$

де  $n$  – кількість змінних функції  $\gamma = f(\vec{\beta}) = f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ , на підставі яких розраховується вихід продукту.

Для подібних технологічних схем функцію  $\gamma = f(\vec{\beta})$  отримати практично не вдається, тому має сенс скористатися чисельним диференціюванням, яке полягає в тому, щоб отримати кінцевий приріст функції  $\Delta\gamma$  і віднести його до кінцевого приросту аргументу  $\Delta\beta$ . З цією метою даємо приріст вхідний величиною  $\Delta\alpha$ , перетворимо його в змінну розкриття, і знайдемо вектори якісних показників  $\alpha$ ,  $\beta$  (табл.11.4). Вектор збільшення показників якості наведено в третьому рядку табл. 11.4 і має вигляд:

$$\Delta\beta_i = \bar{\beta}^{(2)} - \bar{\beta}^{(1)}.$$

Таблиця 11.4. – Результати розрахунку векторів якісних показників

	Номер точки технологічної схеми $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
Вихід продукту, $(\gamma_i^2)$ д. од.	0,681	0,885	0,503	0,312	0,254	0,631	0,369	0,134
Вміст корисного мінералу, $(\beta_i^2)$ д. од.	0,646	0,2419	0,7587	0,3796	0,3842	0,1833	0,8283	0,5201
Приріст $\Delta\beta_j$	0,0645	0,0158	0,0673	0,0110	0,0153	0,0146	0,0665	0,0230
Допустимі відхилення, $\sigma_{\beta_i}$	0,016	0,004	0,017	0,003	0,004	0,004	0,017	0,006
Ранг точності	3	5	1	8	6	7	2	4

Допустимі відхилення, цих параметрів складуть величину:

$$\sigma_{TP} \leq \sigma_{\beta_{ii}} = \frac{\Delta\beta_i}{4}.$$

Приріст вмісту цінного мінералу у початковому продукті відповідає зміні функції розподілу зростків, якщо початковий стан мав вигляд функції 1, яка наведена на рис. 11.2, то приріст цінного мінералу у вихідному продукті дає функцію виду 2 (рис. 11.2).

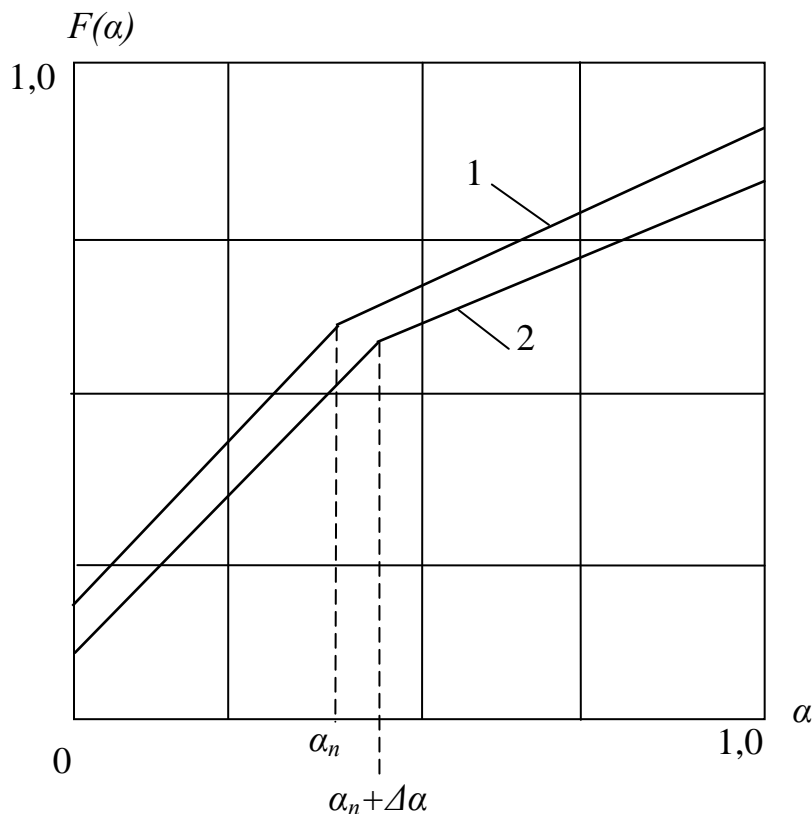


Рисунок. 11.2. – Розподіл зростків при незначній зміні параметрів розкриття

- 1 – функція розподілу зростків початкового стану;
- 2 – функція розподілу зростків з врахуванням приросту  $\Delta\alpha$

Розрахунок дає показники, наведені в табл.11.4.

Останній рядок під таблицею – відхилення відповідних параметрів.

Як видно за відхиленнями, їх значення залежить від схеми з'єднання апаратів, але спостерігається відповідність, що збіднений продукт є більш чутливим до зміни початкових параметрів руди, тому цей продукт повинен вимірюватися більш точно. Перейдемо до оцінки точності вимірювання відповідних параметрів схеми.

Чим вище похідна від величини, тим більше її похибка при вимірюванні, тому тим вище повинна бути точність вимірювання її значення. Таким чином, значення продукту 12, 22, 32 повинно бути виміряне найбільш точно, а збагачені продукти, особливо 21, 41

можна вести за допомогою індикаторів. Таким чином, похибка і точність вимірювання пов'язані зворотною залежністю:

$$\delta \approx \frac{1}{\sigma_{\beta}}$$

Визначимо такі відносини на підставі таблиці 11.4, а результати розрахунку занесемо в табл.11.5.

Таблиця 11.5. – Результати визначення похибки і точності вимірювання

$\alpha_i$	Номер точки технологічної схеми $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
$\Delta\beta_j$	0,0645	0,0158	0,0673	0,0110	0,0153	0,0146	0,0665	0,0230
Допустимі відхилення, $\sigma_{\beta i}$	0,016	0,004	0,017	0,003	0,004	0,004	0,017	0,006
Точність вимірювання, $\delta$	62,04	252,62	59,47	364,81	261,95	273,74	60,15	174,11
Ранг точності	3	5	1	8	6	7	2	4
Клас точності	1	4	1	5	4	4	1	3

Максимальне значення точності вимірювання число серед них 364,8. Нормуємо інші числа щодо відповідності цього значення. Отримуємо ряд чисел, які занесені в табл.11.5 (3-й рядок).

Розіб'ємо весь діапазон 0 - 1 на п'ять класів:

Таблиця 11.6. – Інтервали класів точності

Інтервал	0 – 0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
Клас точності	1	2	3	4	5

Розмістимо отримані оцінки необхідної точності вимірювання величин в класах, отримаємо значення, які розмістимо в останньому рядку табл.11.5.

Здійснення контролю пов'язане зі значними витратами. Надлишкова інформація збиткова і практично не може сприяти поліпшенню якості продукції. Тому методики, що застосовуються для контролю, або пристрої контролю повинні відповідати необхідному класу точності.

Другий принцип випробування і контролю полягає у визначенні періоду випробування. Ця величина залежить від інерційності технологічного процесу і від його частотної характеристики.

Інерційність технології повністю характеризується кривою перехідного процесу, а частотна характеристика визначає фільтраційні властивості технології, тобто як зменшується амплітуда гармонійних складових на виході технології в залежності від збільшення частоти початкового процесу.

***Контрольні питання***

- 1. Наведіть методику розрахунку виходів та якості продуктів схеми, що зображена на рис. 11.1?*
- 2. Навести методику визначення похибки показників продуктів збагачення технологічної схеми, яка зображена на рис. 11.1?*
- 3. Яким чином пов'язані між собою похибка і точність вимірювання показників збагачення?*

## 12. ПЕРІОДИЧНІСТЬ ВИПРОБУВАННЯ

*Мета розділу: визначення періодичності випробування і контролю технологічного процесу.*

Згідно з теоремою Котельникова, щоб з дискретної послідовності відновити безперервний процес, інтервал дискретності  $\Delta t$  для безперервного процесу повинен бути не більше половини періоду  $T$  частоти  $\omega_T$  корисного сигналу:

$$\Delta t = \frac{1}{2\omega_T} = \frac{T}{2}.$$

З цих міркувань за допомогою частотних характеристик слід вибирати дискретність випробування.

Розглянемо економічні аспекти методології випробування.

Очевидно, збільшення частоти випробування зменшує похибку оцінки якості концентрату, але, з іншого боку, збільшує витрати на контроль.

Зменшення похибки оцінки якості концентрату створює можливості для реалізації більш ефективного управління процесом збагачення (в рамках традиційної методології контролю це зміна режимних параметрів на змінному інтервалі часу за даними відповідних трендів). Ефективність управління можна характеризувати зменшенням дисперсії якості концентрату в порівнянні з некерованим процесом, що призводить до зменшення кількості концентрату, що не відповідає технічним умовам. Прийmemo, що, концентрат, що не задовольняє технічним умовам, є некондицією, вартість якого менша за ринкову і це вимагає додаткових витрати на шихтування.

Очевидно, повинен існувати мінімум суми витрат на контроль показників процесу збагачення і можливого збитку від випуску некондиційного концентрату. Цей мінімум і буде визначати раціональний інтервал контролю показників процесу збагачення.

Якщо припустити, що процес контролюється безперервно, то буде отримана деяка реалізація, яка апроксимує показники цього процесу, але з похибкою вимірювання. Різниця між істинними значеннями показників процесу і його апроксимацією буде досить мала. Переходячи до дискретного випробування і таким чином, замінюючи справжній процес ступінчастою функцією, матимемо вже більшу помилку апроксимації, яка може бути представлена

дисперсією апроксимації  $\sigma_{\Delta 2}$ . У міру збільшення дискретності контролю помилка апроксимації буде збільшуватися, і прагнути до власної дисперсії якості функції процесу  $K_{\beta\beta}(\Delta t)$ :

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{\beta}^2 (1 \cdot K_{\beta\beta}(\Delta t)).$$

Для чисельної оцінки функції можливого збитку, від збільшення дискретності випробування, прийmemo для процесу зміни якості концентрату автокореляційну функцію для добових реалізацій, що наведена на рис. 12.1.

В якості оцінки значення  $\sigma_{\beta 2}$  прийmemo значення дисперсії якості концентрату, що було визначене за результатами експресного випробування, яке склало  $\sigma_{\beta}^2 = 0,5\%$ . Приймемо допущення, що величина якості концентрату підпорядковується нормальному закону розподілу і має параметр  $\beta_{кн} = 63,7\%$ , а нижній допустимий рівень якості концентрату складає  $\beta_{к\delta} = 63,0\%$ .

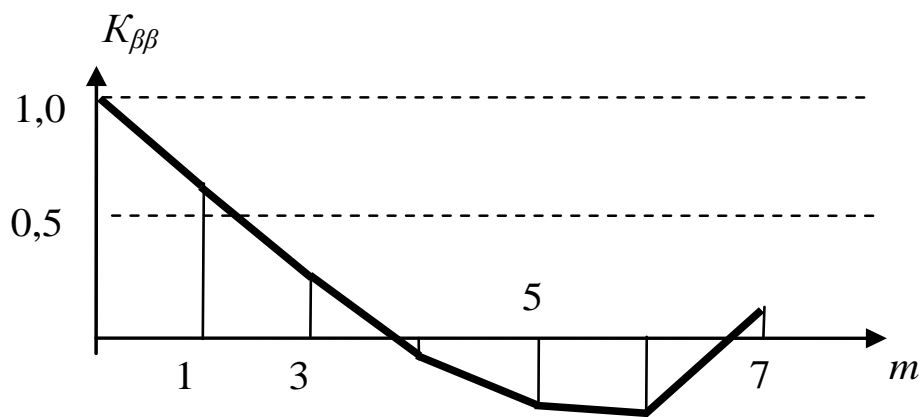


Рисунок 12.1. – Автокореляційна функція вмісту заліза в концентраті добових реалізацій

Тоді зменшуючи інтервал випробування з 3-х годин до 0,5 години (і, тим самим, зменшуючи дисперсію), отримаємо зменшення кількості концентрату з вмістом заліза менше нижнього допустимого рівня. Частку такого концентрату можна визначити за відомим виразом, якщо підставити відповідні чисельні значення вказаних вище величин:

$$P_B = \frac{0,4}{\sigma_{\Delta}} \cdot \int_{\beta_{кн}-3\sigma_{\Delta}}^{\beta_{к\delta}} \exp\left(-\frac{(\beta - \beta_{кн})^2}{2 \cdot \sigma_{\Delta}^2}\right) d\beta.$$

Прогнозований збиток підприємства від випуску продукції що не відповідає технічним умовам розраховувався на основі середніх значень вартісних показників за формулою:

$$\Delta B = Q_K \cdot P_B \cdot (C_K - C_{K2}),$$

де  $Q_K$  – середня добова продуктивність збагачувальної фабрики за концентратом;  $P_B$  – частка бракованої продукції;  $C_K$  – ціна концентрату планової якості;  $C_{K2}$  – ціна концентрату, якість якого нижче допустимого значення.

Результати розрахунків наведені в таблиці 12.1, а графіки зміни остаточних величин, наведені на рис. 12.2.

Таблиця 12.1. – Залежність суми витрат на контроль показників процесу збагачення і прогнозованого очікуваного збитку від виробництва концентрату що не відповідає технічним умовам

Період дискретності, год.	Стандартне відхилення $\sigma_{\Delta}$ , %	Частка некондиції, д. од.	Кількість некондиційного к-ту, т	Збиток, грн.	Витрати на контроль, грн.	Сума, тис. грн.
0,5	0,05	0,01	400	8000	218000	226
1,0	0,17	0,02	800	16000	156000	172
2,0	0,27	0,06	2400	48000	125000	173
3,0	0,5	0,26	10400	208000	112000	320

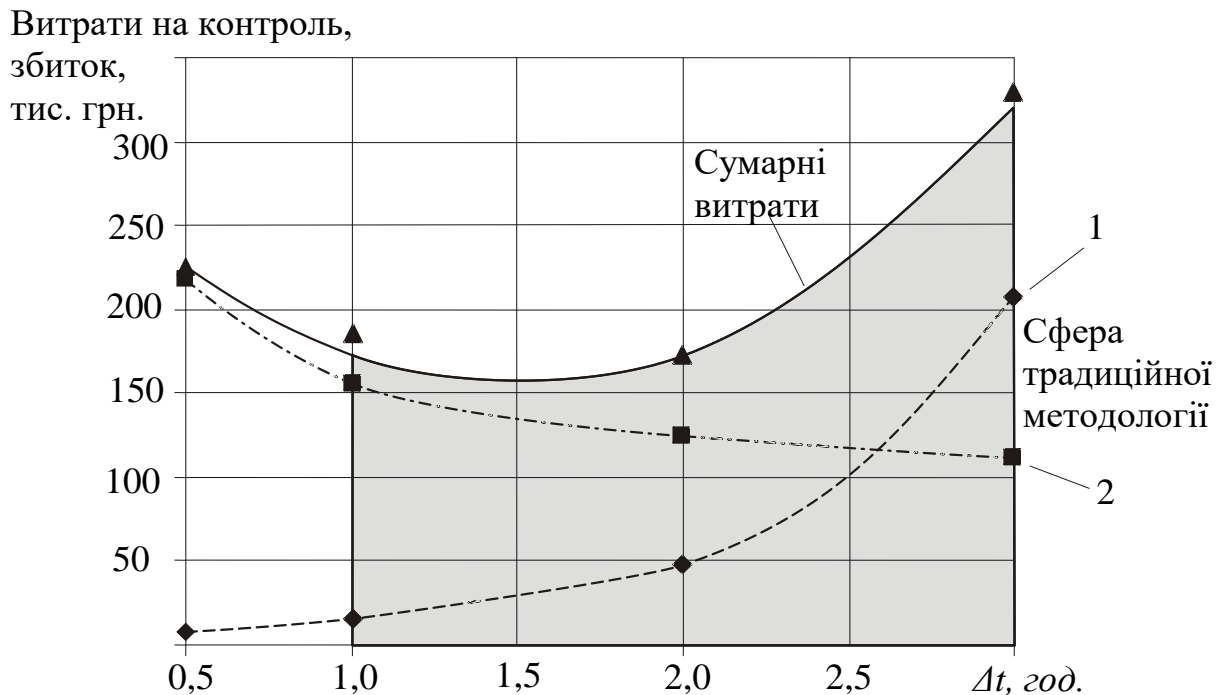


Рисунок 12.2. – Графіки зміни прогнозованого збитку (1) і витрат на випробування і контроль (2) в залежності від дискретності випробування

Умовно ефективність застосування традиційної методології можливо оцінити відповідно середнього значення інтервалу випробування, рівному 2 години. Зменшення інтервалу випробування і контролю до 1,5 години дозволить знизити суму витрат і очікуваного збитку на 1%, що складе 14 тис. грн. для прийнятого добового обсягу переробки.

Розглянемо тепер процеси з точки зору статистичної динаміки.

Коли процес має спектр дисперсії у вигляді кривої на рис. 12.3, тоді максимум відповідає не випадковій складовій і вона є інформативною, то і період випробування буде відповідати половині періоду цієї частоти.

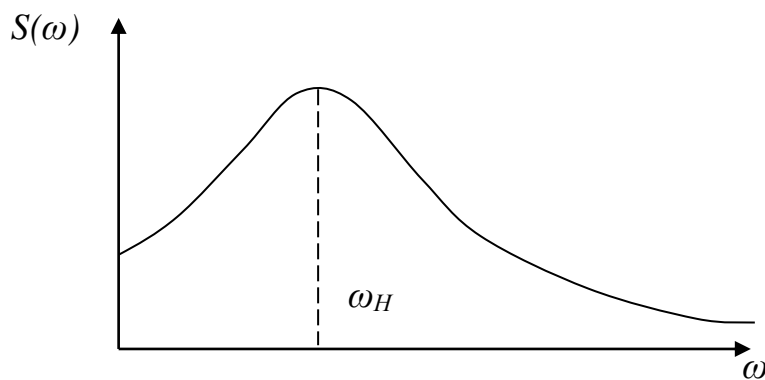


Рисунок 12.3. – Крива спектра дисперсії якісного показника

У міру проходження процесу через технологію високі частоти відфільтровуються і спектр дисперсії набуває вигляду кривої експоненціального вигляду, коли відсутні в ній характерні точки, однак, при цьому змінюється радіус кривизни.

Якщо простежити поведінку функції спектра, то на цій залежності можна якісно виділити три діапазони;

- слабку залежність, для високих частот;
- перехідну область, для середніх частот;
- сильну залежність, для низьких частот.

Вказати чітку межу між діапазонами (рис. 12.4 а) не виявляється можливим, тому що крива не має характерних точок: екстремумів, точок перегину. Разом з тим, таке розмежування необхідно, тобто дозволить розмежувати істотні частоти від несуттєвих.

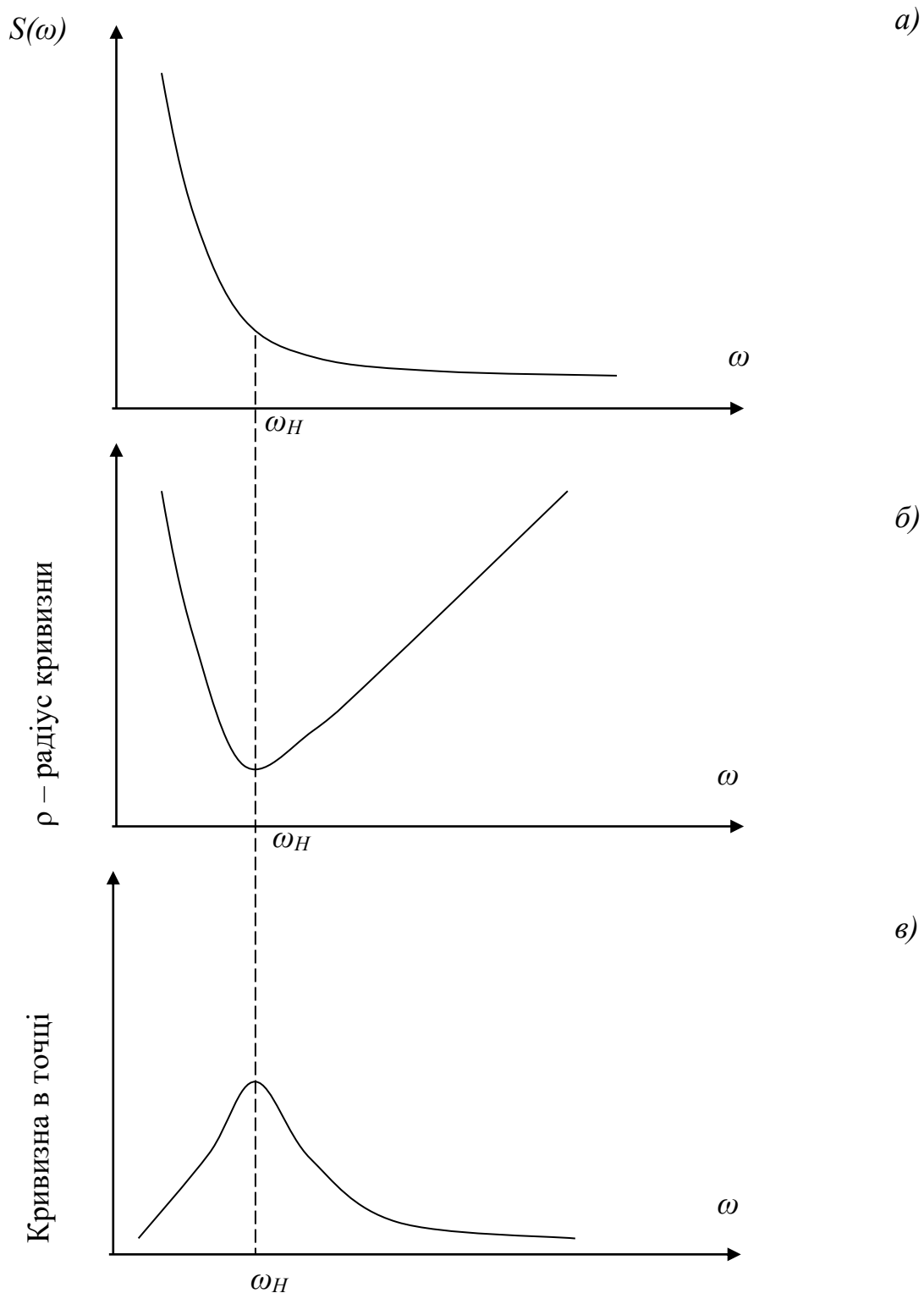


Рисунок 12.4. – Криві для знаходження основної частоти сигналу:

*a* – залежність амплітуди вихідного сигналу від частоти;

*б* – залежність кривизни спектра дисперсії вихідного сигналу від частоти;

*в* – залежність кривизни амплітуди вихідного сигналу від частоти

Відомо, що показникова функція має асимптоти до яких прагнуть її гілки при збільшенні значення аргументу і при його зменшенні, Отже, радіус кривизни при цьому прагне до нескінченності. Тому, якщо побудувати криву  $\rho = f_1(d)$ , то буде також гіпербола, яка має характерну точку – мінімум, що відповідає максимальній кривизні (рис. 12.4 б). Якщо знайти радіус кривизни функції спектру, то її екстремум і буде відповідати шуканій частоті (рис. 12.4 в). Ця точка буде відповідати частоті зміни, наприклад, якості продукту, показник якого слід контролювати з періодичністю в половину його періоду.

### ***Контрольні питання***

- 1. Визначте похибку функції вилучення, якщо похибки вимірювання вихідних показників розділення відомі. Значення цих похибок прийміть самі.*
- 2. Яке значення довірчої ймовірності похибки зазвичай приймається?*
- 3. Чому при розрахунках похибок функції користуються дисперсіями, а не середніми квадратичними відхиленнями?*

## 13. ТОЧНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

*Мета розділу: Визначення основного критерію, що регламентує точність вимірювання технологічних показників.*

### 13.1. Моделювання динамічного перетворення вхідних показників в дисперсії показників збагачення

Динамічне перетворення полягає в тому, щоб визначити дисперсії показників якості у будь-якій точці технологічної схеми.

Дисперсія вихідного показника буде існувати в тому випадку, якщо на вхід технології надходить процес, який має деяку дисперсію. У теорії випадкових процесів відомо таке перетворення. Воно полягає в закономірності перетворення окремих гармонічних складових випадкового процесу на вході в процес такої ж частоти на виході. Розглядаючи закономірності перетворення всіх гармонік, отримуємо спектр дисперсії  $S_{\beta}(\omega)$  на виході технологічного процесу. А інтеграл від спектра дає значення дисперсії.

Таким чином, перетворення дисперсії показника початкового процесу  $\sigma_{\alpha}^2$  у дисперсію показника якості  $\sigma_{\beta}^2$  вихідного процесу відбувається при перетворенні спектрів дисперсій показників цих процесів:

$$S_{\beta}(\omega) = |\Phi(\omega)|^2 \cdot S_{\alpha}(\omega),$$

де  $|\Phi(\omega)|^2$  – квадрат модуля частотної характеристики об'єкту, що перетворює початковий процес.

Частотна характеристика виходить з передавальної функції об'єкту шляхом формальної зміни її аргументу  $p$  на уявне число  $j\omega$ :  $p \rightarrow j\omega$ . Отже, необхідно визначити передавальну функцію об'єкту.

### 13.2. Передавальна функція об'єкту та з'єднань апаратів

Сепараційна характеристика ( $P$ ) визначає апарат на рівні властивостей окремої частинки, а так як вона є функцією, то дає можливість оцінити увесь діапазон властивостей частинок, що направляються на розділення. За допомогою  $P_X$  оцінюють також показники витрати процесу:

$$P_{vixi} = P \cdot p_{ni}; \quad (13.1)$$

де  $p_{вихi}$  – показник, що характеризує властивості  $i$ -тої фракції на виході операції розділення;  $P$  – сепараційна характеристика операції розділення (збагачувального апарату);  $p_{ni}$  – показник, що характеризує властивості  $i$ -тої фракції на початку операції розділення;  $i$  – номер фракції частинок.

Вихід продукту це інтегральна характеристика процесу, яка поєднує функції сировини і апарату. За допомогою виходу оцінюють витратні показники потоків:

$$Q_{вих} = \gamma \cdot Q_n. \quad (13.2)$$

Порівнюючи співвідношення (13.1) і (13.2) можна вважати, що  $\gamma$  та  $P$  виражають однакові закони перетворення початкових параметрів у вихідні і для опису розділових схем можна користуватися обома виразами на однакових умовах.

Розглянемо схему розділення, яка складається із двох операцій (рис. 13.1). Кожен елемент має сепараційну характеристику ( $P_1, P_2$ ).

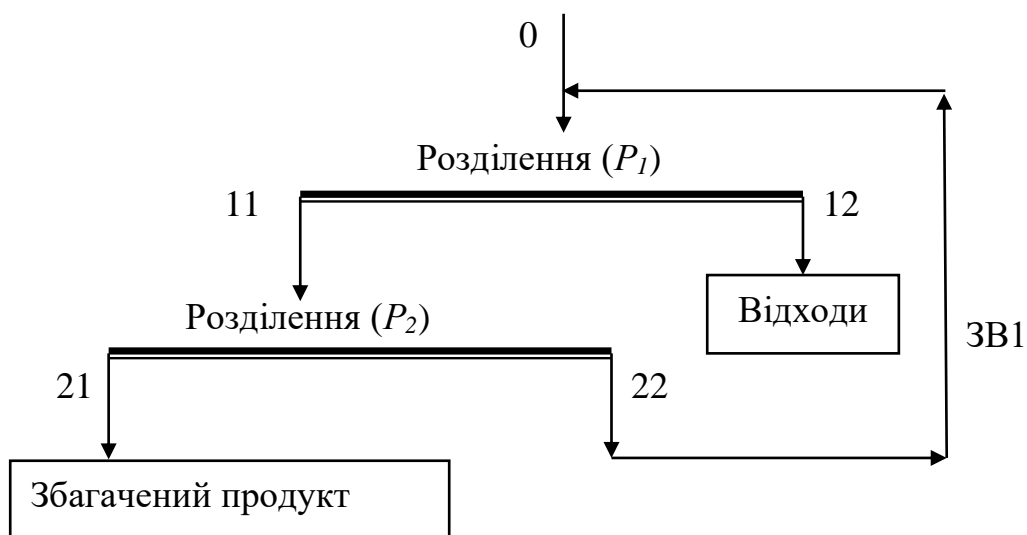


Рисунок 13.1. – Схема розділення

Схема описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} p_{11} = P_1 \cdot (p_0 + p_{22}); \\ p_{12} = P_1^1 \cdot (p_0 + p_{22}); \\ p_{21} = P_2 \cdot p_{11}; \\ p_{22} = P_2^1 \cdot p_{11}. \end{cases} \quad (13.3)$$

де  $p_i$  – вміст  $i$ -тої фракції властивостей у  $i$ -тому продукті;

$P_1^1, P_2^1$  – зворотна сепараційна характеристика, відповідно першої та другої операції розділення ( $P_1^1 = 1 - P_1; P_2^1 = 1 - P_2$ ).

Рішення цієї системи відносно збагаченого продукту ( $p_{21}$ ) дає наступний аналітичний вираз:

$$p_{21} = \frac{P_1 \cdot P_2}{1 - P_1 \cdot P_2^1}, \quad (13.4)$$

який пов'язує вміст вузької фракції частинок певних властивостей на початку процесу і його виході.

Розглянемо тепер цей же процес через інтегральні характеристики. Кожен елемент характеризується частковим виходом –  $\gamma_i^u$ . Витрати потоків описуються системою рівнянь вмісту класу  $i$ -тої фракції властивостей:

$$\begin{cases} Q_{11} = \gamma_{11}^u \cdot (Q_0 + Q_{22}); \\ Q_{12} = \gamma_{11}^{u1} \cdot (Q_0 + Q_{22}); \\ Q_{21} = \gamma_{21}^u \cdot Q_{11}; \\ Q_{22} = \gamma_{21}^{u1} \cdot Q_{11}. \end{cases}$$

Рішення цієї системи відносно  $Q_{21}$  дає наступне рівняння:

$$Q_{21} = \frac{\gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^u}{1 - \gamma_{11}^u \cdot \gamma_{21}^{u1}} \cdot Q_0, \quad (13.5)$$

яке за структурою повністю відповідає рівнянню (13.4). Таким чином величини  $P(\alpha)$  та  $\gamma$  тотожні.

У теорії автоматичного управління користуються еквівалентом диференціальних рівнянь – передавальними функціями  $W(p)$ . З їх допомогою закон перетворення початкових величин об'єкту в вихідні записується у вигляді:

$$X_{вих} = W(p) \cdot X_n \quad X_{вих} = W(p) \cdot X_n.$$

У нашому випадку передавальна функція одноємного об'єкта має вигляд:

$$W(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1}. \quad (13.6)$$

Величина  $T = \frac{V}{Q}$  отримана в явному вигляді, а коефіцієнт

передачі є відношенням витрат на виході і на початку процесу розділення, тобто вихід збагаченого продукту:  $K = \gamma$ . Більшість

технологічних апаратів мають одну ємність і тому передавальні функції для них мають однакові аналітичні вирази (13.6).

У технологічному об'єкті величини  $X_{вих}$ ,  $X_n$  є витратними і тому рівняння (13.5) і (13.6) еквівалентні. Тому замість виходу можна підставити передавальні функції. Так як розділовий апарат має два виходи, то він має і дві передавальні функції, тоді для схеми рис. 13.1 структурна схема буде виглядати відповідно до рис. 13.2, а передавальна функція такої схеми:

$$W_C(p) = \frac{W_1 \cdot W_2}{1 - W_1 \cdot W_2^1}$$

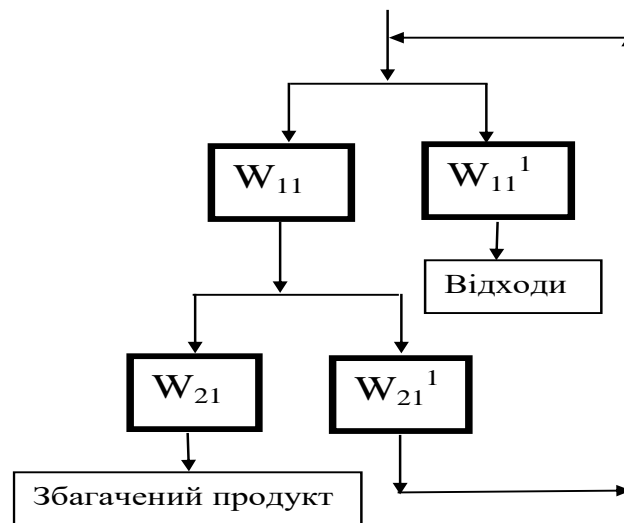


Рисунок.13.2. – Структурна схема процесу розділення

Таким чином, для отримання передавальної функції розділової схеми необхідно виконати наступні математичні дії.

Для заданої схеми складаються балансові рівняння виду (13.2) або (13.3). Виконуються тотожні перетворення системи рівнянь з метою приведення їх до вигляду:

$$Q_{вих} = f(Q_0)$$

Після отримання виразу  $Q_{вих} = f(Q_0)$  підставляють в нього замість розділових характеристик передавальні функції елементів. Отримують передавальну функцію системи. Після виконання тотожних перетворень функції системи, отримують постійну часу системи і всі змінні стану цієї системи. Слід пам'ятати про те, що будь-який об'єкт має запізнювання і ємність. Залежно від співвідношення терміну запізнювання і постійної часу ідентифікують



Як уже зазначалося, технологічна схема є складним з'єднанням апаратів і тому визначити величину  $T$  для неї можливо лише на основі перетворення передавальних функцій окремих апаратів в залежності від схеми з'єднання цих апаратів.

Розглядаючи технологічну схему, як одноємні об'єкти, з'єднані між собою комбінацією послідовно, паралельно та зі зворотними зв'язками, опустивши всі проміжні перетворення з отримання передавальної функції схеми, маємо:

$$W_{1.16} = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot W_4 \cdot W_5 \cdot W_7 \cdot W_8}{(1 - W_1 \cdot W_2^1) \cdot (1 - W_6 \cdot W_{17} \cdot W_5^1)} \cdot \frac{W_9 \cdot W_{10} \cdot W_{13} \cdot W_{14} \cdot W_{15} \cdot W_{16}}{(1 - W_9 \cdot W_{11} \cdot W_{12} \cdot W_{10}^1) \cdot (1 - W_{15} \cdot W_{16}'')} \cdot \frac{1}{1 - \frac{W_9 \cdot W_{10} \cdot W_{13} \cdot W_{14} \cdot W_{15} \cdot W_{16} \cdot W_{16}'}{(1 - W_9 \cdot W_{11} \cdot W_{12} \cdot W_{10}^1) \cdot (1 - W_{15} \cdot W_{16}'')}}} \quad (13.6)$$

Члени складної функції  $W_{1.16}$  є передавальні функції окремих апаратів технології та мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{0,1 \cdot p + 1}; & W_2 &= \frac{0,5}{0,4 \cdot p + 1}; & W_2^1 &= \frac{0,5}{0,04 \cdot p + 1}; & W_3 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; \\ W_5 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_5^1 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_6 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_7 &= \frac{1}{2,5 \cdot p + 1}; \\ W_8 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_9 &= \frac{1}{0,25 \cdot p + 1}; & W_{10} &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_{10}^1 &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; \\ W_{11} &= \frac{1}{0,1 \cdot p + 1}; & W_{12} &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; & W_{13} &= \frac{1}{1,5 \cdot p + 1}; & W_{14} &= \frac{1}{0,01 \cdot p + 1}; \\ W_{15} &= \frac{1}{p + 1}; & W_{16} &= \frac{0,7}{0,05 \cdot p + 1}; & W_{16}^1 &= \frac{0,2}{0,05 \cdot p + 1}; & W_{16}^{11} &= \frac{0,1}{0,05 \cdot p + 1}; \\ W_{17} &= \frac{1}{0,1 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Ємності апаратів технологічної схеми збагачення прийняті наступними:

- 1 – млин 1-ї стадії,  $V_1 = 60 \text{ м}^3$ ;
- 2 – класифікатор двуспіральний,  $V_2 = 33 \text{ м}^3$ ;
- 3 – сепаратор ПБМ-90x250,  $V_3 = 0,4 \text{ м}^3$ ;
- 4 – зумпф промпродуктовий,  $V_4 = 19 \text{ м}^3$ ;
- 5 – гідроциклон ГЦ-710,  $V_5 = 0,4 \text{ м}^3$ ;
- 6 – сепаратор ПБМ - 100 × 300,  $V_6 = 0,5 \text{ м}^3$ ;
- 7 – дешламатор МД-9,  $V_7 = 138 \text{ м}^3$ ;
- 8 – сепаратор ПБМ-90 × 250,  $V_8 = 0,4 \text{ м}^3$ ;
- 9 – зумпф технологічний,  $V_9 = 37,2 \text{ м}^3$ ;

- 10 – гідроциклон ГЦ-710,  $V_{10} = 0,4 \text{ м}^3$ ;
- 11 – млин 3-ї стадії,  $V_{11} = 60 \text{ м}^3$ ;
- 12 – сепаратор ПБМ -  $100 \times 300$ ,  $V_{12} = 0,5 \text{ м}^3$ ;
- 13 – дешламатор МД-9,  $V_{13} = 138 \text{ м}^3$ ;
- 14 – сепаратор ПБМ -  $100 \times 300$ ,  $V_{14} = 0,5 \text{ м}^3$ ;
- 15 – дешламатор МД-9,  $V_{15} = 40 \text{ м}^3$ ;
- 16 – вакуумфільтр,  $V_{16} = 2,0 \text{ м}^3$ ;
- 17 – млин другої стадії  $V_{17} = 60 \text{ м}^3$ .

Підставляючи у вираз для  $W_{1.16}$  рівняння передавальних функцій апаратів, і виконуючи тотожні перетворення щодо приведення цього виразу до правильного алгебраїчного дроби, отримуємо у знаменнику поліном, який представляє собою характеристичне рівняння диференціального типу перехідного процесу технологічної схеми. Ці перетворення є надзвичайно громіздкими, тому для їх виконання застосовувалася програмна система Mathcad. Результат перетворення був отриманий у вигляді правильного алгебраїчного дроби (знаменник вийшов 20-го порядку щодо аргументу  $p$ ).

### 13.3. Отримання частотної характеристики

Як уже зазначалося, частотна характеристика виходить із передавальної функції і має у чисельнику та знаменнику комплексні величини, тому частотна характеристика представляється у вигляді комплексних чисел:

$$\Phi(j \cdot \omega) = A(\omega) + j \cdot B(\omega).$$

Відповідно до якого, отримують модульну характеристику:

$$\Phi_A(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}.$$

Розглянемо приклад.

Прийmemo передавальну характеристику технологічного блоку, у вигляді:

$$W_C(p) = \frac{W_1 \cdot W_2}{1 - W_1 \cdot W_2^1} = \frac{K_1 \cdot K_2}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{K_1 \cdot K_2}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}}.$$

Після тотожних перетворень маємо алгебраїчний дріб:

$$W(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{((T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1) - K_1 \cdot K_2) \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}.$$

Виконуємо заміну змінної, та отримуємо:

$$\Phi(j \cdot \omega) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot (T_1 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (T_2 \cdot j \cdot \omega + 1)}{((T_1 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (T_2 \cdot j \cdot \omega + 1) - K_1 \cdot K_2) \cdot (T_1 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (T_2 \cdot j \cdot \omega + 1)}.$$

Приводимо отриманий вираз до нормального вигляду, та отримуємо:

чисельник:  $K_1 \cdot K_2 \cdot (-T_1 \cdot T_2 \cdot \omega^2 + (T_1 + T_2) \cdot j \cdot \omega + 1)$

знаменник:  $T_1^2 \cdot T_2^2 \cdot \omega^4 - 2 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (T_1 + T_2) \cdot j \cdot \omega^3 + (-T_1 \cdot T_2 - (T_1 + T_2)^2 - (1 - K_1 \cdot K_2') \cdot T_1 \cdot T_2) \cdot \omega^2 + (1 - K_1 \cdot K_2') \cdot (T_1 + T_2) \cdot j \cdot \omega + 1 - K_1 \cdot K_2'$

Введемо позначення:

у знаменнику  $A_0 = T_1^2 \cdot T_2^2;$

$$A_1 = -2 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (T_1 + T_2);$$

$$A_2 = -T_1 \cdot T_2 - (T_1 + T_2)^2 - (1 - K_1 \cdot K_2') \cdot T_1 \cdot T_2;$$

$$A_3 = (1 - K_1 \cdot K_2') \cdot (T_1 + T_2);$$

$$A_5 = 1 - K_1 \cdot K_2'.$$

у чисельнику  $A_6 = -K_1 \cdot K_2 \cdot T_1 \cdot T_2;$

$$A_7 = K_1 \cdot K_2 \cdot (T_1 + T_2).$$

Маємо: 
$$\Phi(j \cdot \omega) = \frac{A_6 \cdot \omega^2 + 1 + A_7 \cdot j \cdot \omega}{A_0 \cdot \omega^4 + A_2 \cdot \omega^2 + A_5 + j(A_1 \cdot \omega^3 + A_3 \cdot \omega)}.$$

Позбавляємося від комплексності в знаменнику шляхом множення чисельника і знаменника на поєднане комплексне число знаменника, отримуємо нормальне комплексне число, яке представляє собою частотну характеристику. Зробимо таке перетворення частинами.

Для чисельника:

– дійсна частина:

$$A = A_0 \cdot A_6 \cdot \omega^6 + (A_2 \cdot A_6 + A_0 + A_1 \cdot A_2) \cdot \omega^4 + (A_5 \cdot A_6 + A_2 + A_2 \cdot A_3) \cdot \omega^2 + A_5$$

– уявна частина:

$$B = (-A_0 \cdot A_1 + A_0 \cdot A_2) \cdot \omega^5 + (-A_3 \cdot A_6 - A_1 + A_7 \cdot A_2) \cdot \omega^3 + (-A_3 + A_4 \cdot A_5) \cdot \omega$$

Для знаменника:

$$C = (A_0 \cdot \omega^4 + A_2 \cdot \omega^2 + A_5)^2 + (A_1 \cdot \omega^3 + A_3 \cdot \omega)^2.$$

Остаточний вигляд частотної характеристики наступний:

$$\Phi(\omega) = \frac{A(\omega)}{C(\omega)} + j \cdot \frac{B(\omega)}{C(\omega)}.$$

Всі математичні дії автоматично виконуються в системі *Machcad*.

Модуль частотної характеристики набуде вигляду:

$$|\Phi(\omega)|^2 = \left(\frac{A(\omega)}{C(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{B(\omega)}{C(\omega)}\right)^2.$$

### **13.4. Визначення дисперсій якісних показників збагачених продуктів**

Співвідношення між спектром дисперсії і самою дисперсією має вигляд:

$$\sigma_{\beta}^2 = \int_0^{\infty} |\Phi(\omega)|^2 \cdot S_{\alpha}(\omega) \cdot d\omega.$$

Таким чином, складаючи частотні характеристики для будь-якого вузла технологічної схеми збагачення, отримуємо для них дисперсії якості збагаченого продукту.

### **13.5. Розробка критерію, що оцінює достатність точності вимірювання показників технологічного процесу.**

Як відомо, вимірювання показників якості потоків збагачувальних процесів проводиться з певною похибкою. Чим менше похибка (більше точність), тим дорожче вимірювальний процес. У технологічній схемі збагачення проводиться випробування безлічі параметрів для контролю їх значень. Деякі параметри дуже чутливі до зміни технологічного регламенту, або збагачувальних ознак, інші малочутливі. Очевидно, в залежності від чутливості процесу необхідно застосовувати різну точність вимірювання.

Як правило, високочутливі процеси мають ширші допустимі межі зміни, у порівнянні із малочутливими. Для малочутливих процесів всі малі відхилення є значущими і тому точність вимірювання їх показників повинні бути високою.

Самі ж показники можуть вимірюватися точніше, або грубіше в залежності від цінності корисного мінералу і призначення інформації про нього.

Так для управління процесом, коли важливим виявляється тільки направлення зміни, можна вести вимір з малою точністю. Для розрахунку зі споживачем концентратів – точніше. Таким чином, показники, що характеризують проміжні продукти можна заміряти грубіше, а концентрат – точніше.

Введемо поняття чутливості і похибки технологічного процесу.

Якщо в результаті зміни технологічного показника відбулося відхилення показника якості на величину  $\Delta X_{II}$ , при цьому початкове значення показника якості складало  $X_{II}$ , то величина:

$$\delta = \frac{\Delta X_{II}}{X_{II}},$$

буде визначати точність процесу:

$$\tau = \frac{1}{|\delta|} = \frac{X}{\Delta X}.$$

Якщо в результаті вимірювання технологічного показника допускається похибка  $\sigma_i$ , при цьому початкове значення показника якості  $X_i$ , то величина:

$$\delta_i = \frac{\sigma_i}{X_i};$$

буде визначати точність вимірювання:

$$\tau = \frac{1}{|\delta_i|} = \frac{X_i}{\sigma_i}.$$

Таким чином, точність вимірювання  $\sigma_i$  величини повинна бути вище точності технологічного процесу  $\sigma_{II}$ , тобто  $\sigma_i < \sigma_{II}$ .

При цьому значення величини  $X_i$  із похибкою  $\sigma_I$  має відповідати значенням технологічного процесу  $X_{II}$ :  $X_i \approx X_{II}$ .

Нерівність може бути з малою відмінністю або значною.

Для об'єктивного вибору ступеня нерівності необхідно використовувати характеристики поведінки технологічного процесу. Скористуємося в цьому випадку показником чутливості. Зміна якісних показників при зміні режимних параметрів або показників збагачувальних ознак визначає чутливість. З цією метою нами було проведено дослідження впливу зміни якості проміжних продуктів на зміну згаданих показників. Дослідження проводилося чисельно за допомогою детермінованої моделі технологічного процесу. В якості технологічного процесу була прийнята схема збагачення розсипів Вільногірського гірничо-металургійного комбінату. Результати дослідження заносилися в таблицю, на якій була перевірена математична модель на адекватність і отримані оцінки похідних для всіх точок технології і для зміни вмісту цінних мінералів: циркону, ільменіту, ставроліту, дистену, рутилу. Таблиця має значні розміри і

приводити її не має сенсу, тому зупинимося на деяких узагальнюючих показниках.

Оскільки в режимі експлуатації технології всі показники режимів і збагачувальних ознак діють одночасно, то з результатів дослідження ми вибрали найбільші за абсолютним значенням похідні. Як і слід було очікувати, великих значень похідних не спостерігалось, так як це призвело б до нестійкого стану технологічного процесу. Можна вважати, що межі зміни похідних складають:

$$-2,0 \leq \frac{d\beta}{dx_i} \leq 2,0 .$$

В середньому похідні складають значення близько:

$$\frac{d\beta}{dx_i} = 0,5.$$

Чим вище значення похідної, тим більше зміна якості при малих змінах режимів, і тим грубіше може бути вимірювальна оцінка цієї якості. І навпаки: тим менше зміна якості при малих змінах режимів, тим точніше повинна бути вимірювальна оцінка якості.

Для вибору необхідної точності вимірювання необхідна прив'язка до деяких стійких показників технологічного процесу. Це може бути середнє значення, медіана і ін. Дослідження технологічного процесу методом Монте-Карло показало, що розподіл показників якості промпродуктів у всіх точках схеми рівномірний, тому ми скористаємося середнім його значенням –  $\bar{X}_\Pi$ . Тоді вираз, який пов'язує похибки технології та вимірювання можна записати у вигляді:

$$\frac{X_i}{\sigma_i} = \frac{X_\Pi}{\sigma_\Pi} = \frac{\kappa}{f'}$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт, який узгоджує розмірності.

Можна представити:  $X_i = X_\Pi + \sigma_i$ .

Тоді:

$$\frac{X_\Pi + \sigma_i}{\sigma_i} - \frac{X_\Pi}{\sigma_\Pi} = \frac{\kappa}{f'}$$

або

$$X_\Pi \cdot \left( \frac{1}{\sigma_i} - \frac{1}{\sigma_\Pi} \right) = \frac{\kappa}{f'} - 1.$$

В результаті маємо:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{\Pi}}{1 + \frac{\sigma_{\Pi}}{X_{\Pi}} \cdot \left( \frac{\kappa}{f'} - 1 \right)}.$$

Таким чином, коли відношення середнього квадратичного відхилення до середнього значення у технологічному процесі досить незначне, то похибка вимірювання може дорівнювати похибці технологічного процесу, тобто вимір показників концентратів може проводитися з похибкою, яку має сам технологічний процес. Через це виміри величин на початку технології повинні проводитися з більшою точністю, ніж має точність технологічний процес. У той же час, коли похідна технологічного показника досить мала, то похибка виміру повинна бути істотно знижена.

Точність контролю може бути настільки високою, що існуючі способами, або пристроями виміряти значення із достатньою точністю не має можливості. Для цього необхідно підібрати вимірювальну масу (об'єм матеріалу), що забезпечить достатню точність. Розглянемо, яким чином можна підібрати такий достатній об'єм матеріалу.

### ***Контрольні питання***

- 1. Запишіть рішення системи (13.3) відносно відходів ( $p_{12}$ ).*
- 2. За допомогою табл. 10.1 визначте похідні технологічних процесів.*

## 14. КОНТРОЛЬ ВИТРАТИ ТВЕРДОГО В ПУЛЬПІ

*Мета розділу: розгляд можливостей контролю параметрів технологічних процесів за результатами непрямих вимірів їх характеристик.*

Витрату пульпи виміряти прямим способом досить складна технічна задача через те, що тверді частинки замулюють чутливі елементи. Тому цей вимір можна реалізувати за допомогою контролю витрати води, що досить просто, і контролю щільності пульпи, що також відносно нескладно виконати.

Витрата твердої фази пульпи (твердого в пульпі) залежить від параметрів пульпи таким чином:

$$Q_T = Q_B \cdot \frac{p_T}{1 - p_T}, \quad (14.1)$$

де  $Q_B$ ,  $Q_T$  – витрата, відповідно води та твердого,  $m/год$ ;  $p_T$  – масовий вміст твердого в пульпі, *доли од.*

Величина витрати води ( $Q_B$ ) в потоці контролюється за допомогою манометрів, а масовий вміст твердого ( $p_T$ ) розраховується через контроль щільності пульпи ( $\delta_{II}$ ) за допомогою співвідношення:

$$p_T = \frac{\delta_T \cdot (\delta_{II} - \delta_B)}{\delta_{II} \cdot (\delta_T - \delta_B)}, \quad (14.2)$$

при цьому щільності води і твердої фази, для конкретної технологічної точки, до певної міри, можна вважати константами.

Оцінимо правомочність цього методу контролю витрат твердого шляхом перевірки точності контролю. Для цього запишемо вирази для похибок вимірювання:

$$\sigma_{Q_T}^2 = \left( \frac{\partial Q_T}{\partial Q_B} \right)^2 \cdot \sigma_{Q_B}^2 + \left( \frac{\partial Q_T}{\partial p_T} \right)^2 \cdot \sigma_{p_T}^2;$$
$$\sigma_{p_T}^2 = \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_T} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_T}^2 + \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_{II}} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_{II}}^2 + \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_B} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_B}^2.$$

Візьмемо часткові похідні від виразів (14.1, 14.2) і знайдемо їх значення

$$\frac{\partial p_T}{\partial \delta_B} = \frac{\delta_T \cdot \delta_{II} \cdot (\delta_{II} - \delta_B) - \delta_T \cdot (\delta_T - \delta_B) \cdot \delta_{II}}{(\delta_{II} \cdot (\delta_T - \delta_B))^2};$$

$$\frac{\partial p_T}{\partial \delta_T} = \frac{(\delta_T - \delta_B) \cdot (\delta_{II} - \delta_B) \cdot \delta_{II} - \delta_T \cdot \delta_{II} \cdot (\delta_{II} - \delta_B)}{(\delta_{II} \cdot (\delta_T - \delta_B))^2};$$

$$\frac{\partial p_T}{\partial \delta_{II}} = \frac{\delta_{II} \cdot \delta_T \cdot (\delta_T - \delta_B) - (\delta_T - \delta_B) \cdot (\delta_{II} - \delta_B) \cdot \delta_T}{(\delta_{II} \cdot (\delta_T - \delta_B))^2};$$

$$\frac{\partial Q_T}{\partial Q_B} = \frac{p_T}{1 - p_T}; \quad \frac{\partial Q_T}{\partial p_T} = \frac{1}{(1 - p_T)^2} \cdot Q_B.$$

Обчислимо параметри похибки за таких умов:

$$\delta_T = 3500 \text{ кг/м}^3; \quad \delta_B = 1000 \text{ кг/м}^3; \quad \delta_{II} = 1680 \text{ кг/м}^3; \quad Q_B = 1,0 \text{ кг/с};$$

$$\sigma_T = 0,5\%; \quad \sigma_B = 0,5\%; \quad \sigma_{II} = 0,5\%; \quad \sigma_{Q_B} = 0,5\%.$$

$$\frac{\partial p_T}{\partial \delta_T} = \frac{0,68 \cdot 2,5 \cdot 1,68 - 3,5 \cdot 0,68 \cdot 1,68}{17,64} = -0,065 \cdot 10^{-3} [\text{м}^3/\text{м}] = -0,065 [\text{м}^3/\text{кг}];$$

$$\frac{\partial p_T}{\partial \delta_B} = \frac{3,5 \cdot 0,68 \cdot 1,68 - 1,68 \cdot 2,5 \cdot 3,5}{17,64} = -0,6 \cdot 10^{-3} [\text{м}^3/\text{м}] = -0,6 [\text{м}^3/\text{кг}];$$

$$p_T = \frac{3,5 \cdot 0,68}{1,68 \cdot 2,5} = 0,57; \quad \frac{\partial Q_T}{\partial Q_B} = \frac{1 - 0,57}{0,57} = 0,75; \quad \frac{\partial Q_T}{\partial p_T} = -\frac{1}{0,56^2} = 3,19.$$

$$\sigma_T = 3500 \cdot 0,05 = 35; \quad \sigma_B = 10; \quad \sigma_{II} = 1,68; \quad \sigma_{Q_B} = 0,25.$$

$$\sigma_{p_T}^2 = \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_T} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_T}^2 + \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_{II}} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_{II}}^2 + \left( \frac{\partial p_T}{\partial \delta_B} \right)^2 \cdot \sigma_{\delta_B}^2 =$$

$$= 0,0042 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} + 0,36 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 1,53 \cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_{Q_T}^2 = \left( \frac{\partial Q_T}{\partial Q_B} \right)^2 \cdot \sigma_{Q_B}^2 + \left( \frac{\partial Q_T}{\partial p_T} \right)^2 \cdot \sigma_{p_T}^2 =$$

$$= 0,56 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} + 10,18 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 26,85 \cdot 10^{-5}.$$

$$\sigma_{Q_T} = \sqrt{\sigma_{Q_T}^2} = \sqrt{26,85 \cdot 10^{-5}} = 0,0164 \text{ кг/с} \approx 16,4 \text{ г/с}.$$

Відносна похибка буде визначатися в залежності від шкал пристроїв вимірювання або до максимальної продуктивності технологічного апарату. Наприклад, якщо млин має продуктивність 30 кг/с, тоді відносна похибка становить:

$$\delta = \frac{0,0164}{30} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ част. од.}$$

Відхилення щільності магнетиту становить  $\Delta_M = 300 \text{ кг/м}^3$ , а кварцу  $\Delta_K = 200 \text{ кг/м}^3$ , при цьому абсолютні значення щільності, відповідно  $\delta_M = 5100 \dots 4800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_K = 2900 \dots 2700 \text{ кг/м}^3$ . Визначимо,

яку похибку вносить в вимір щільності руди такі відхилення, наприклад, при вмісту магнетиту  $\alpha_M = 0,45$ .

Щільність рудного зростка при вказаному вмісту магнетиту складає:

$$\delta_T = \frac{\delta_M \cdot \delta_K}{\delta_M - \alpha_M \cdot (\delta_M - \delta_K)} = \frac{5000 \cdot 2800}{5000 - 0,45(5000 - 2800)} = 3800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\frac{\partial \delta_T}{\partial \delta_M} = \frac{\delta_K \cdot (\delta_M - \alpha_M \cdot (\delta_M - \delta_K)) - \delta_M \cdot \delta_K \cdot (1 - \alpha_M)}{(\delta_M - \alpha_M \cdot (\delta_M - \delta_K))^2} =$$

$$= \frac{2800 \cdot (5000 - 0,45 \cdot (5000 - 2800)) - 5000 \cdot 2800 \cdot (1 - 0,45)}{(5000 - 0,45 \cdot (5000 - 2800))^2} = 0,219;$$

$$\frac{\partial \delta_T}{\partial \delta_K} = \frac{\delta_M \cdot (\delta_M - \alpha_M \cdot (\delta_M - \delta_K)) - \delta_M \cdot \delta_K \cdot \alpha_M}{(\delta_M - \alpha_M \cdot (\delta_M - \delta_K))^2} =$$

$$= \frac{5000 \cdot (5000 - 0,45 \cdot (5000 - 2800)) - 5000 \cdot 2800 \cdot (1 - 0,45)}{(5000 - 0,45 \cdot (5000 - 2800))^2} = 0,768;$$

$$\sigma_{\delta_T}^2 = (0,219 \cdot 300)^2 + (0,768 \cdot 200)^2 = 27927;$$

$$\sigma_{\delta_T} = \sqrt{\sigma_{\delta_T}^2} = \sqrt{27927} = 167,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\Delta \delta_{\text{Тотн}} = \frac{\sigma_{\delta_T}}{\delta_T} = \frac{167,2}{3800} = 0,044 \text{ част. од.}, \text{ або } 4,4 \ %.$$

#### 14.1 Класичний спосіб контролю витрати твердого

Цей метод полягає в тому, щоб розрахувати вихід продукту і на його підставі обчислити витрату твердого, за умови, що витрата початкового продукту відома, тобто:

$$\gamma = \frac{\alpha - v}{\beta - v}, \quad (14.3)$$

$$Q_T = Q_{\Pi} \cdot \gamma, \quad (14.4)$$

де  $\gamma$  – вихід продукту, *д. од.*;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $v$  – вміст корисного мінералу, відповідно у початковому продукті, концентраті та відходах, %;  $Q_{\Pi}$ ,  $Q_T$  – витрата (продуктивність) відповідно початкового продукту та шуканого, *т/год.* (*кг/с*).

Величини  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $v$  в процесі експлуатації технології підлягають вимірюванню, тобто є контрольованими величинами. Контролюється також витрата продукту, що надходить на переробку ( $Q_{\Pi}$ ). Таким

чином розрахунковою величиною є  $Q_T$ . Визначимо похибку даного методу.

Визначаємо похідні від функцій (14.3) і (14.4).

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} = \frac{(\beta - \nu)}{(\beta - \nu)^2} = \frac{1}{\beta - \nu};$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \beta} = -\frac{\alpha - \nu}{(\beta - \nu)^2};$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \nu} = \frac{\alpha - \beta}{(\beta - \nu)^2};$$

$$\frac{\partial Q_T}{\partial \gamma} = Q; \quad \frac{\partial Q_T}{\partial Q} = \gamma.$$

Прийmemo похибки виміру величин:  $\sigma_\alpha = 0,003$ ;  $\sigma_\beta = 0,005$ ;  
 $\sigma_\nu = 0,001$ ;  $\sigma_Q = 0,3 \text{ кг/с}$ .

Значення вимірних величин становить:  $\alpha = 0,3$ ;  $\beta = 0,5$ ;  $\nu = 0,1$ .

Значення похідних:  $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} = 2,5$ ;  $\frac{\partial \gamma}{\partial \beta} = -1,25$ ;  $\frac{\partial \gamma}{\partial \nu} = -1,25$ .

Похибка виходу:

$$\sigma_\gamma^2 = 2,5^2 \cdot 0,0015^2 + 1,25^2 \cdot 0,0005^2 + 1,25^2 \cdot 0,0025^2 = 23,7 \cdot 10^{-6}.$$

Похибка витрати:

$$\sigma_Q^2 = 30^2 \cdot 23,7 \cdot 10^{-6} + 0,5^2 \cdot 0,3^2 = 0,0435. \quad \sigma_Q = 0,208 \text{ [кг/с]}.$$

Відносна похибка при продуктивності секції 30 кг/с становить:

$$\delta = \frac{0,208}{30} = 0,007.$$

Таким чином, похибка вимірювання витрат твердого через показники збагачення досить мала і тому цей спосіб визначення витрати твердого в пульпі зазвичай застосовується на виробництві.

## 14.2. Вимір витрат твердої сухої маси на конвеєрі

Витратна характеристика являє собою кількість матеріалу, що пройшов через поперечний переріз руху матеріального потоку в одиницю часу, тобто це

$$Q(t) = q(t) \cdot U(t), \text{ [кг/с]}, \quad (14.5)$$

де  $q$  – питоме навантаження на стрічці конвеєру за довжиною (погонне),  $\text{кг/м}$ , величина випадкова;  $U(t)$  – швидкість стрічки конвеєра,  $\text{м/с}$ , в більшості випадків константа.

Кількість матеріалу, що пройшла за період часу  $\Delta t$  з  $t_1$  до  $t_2$

визначиться як:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q(t) \cdot U(t) dt.$$

Таким чином, необхідно вимірювати дві величини  $U(t)$  і  $q(t)$  для визначення миттєвої витрати і потім виконувати ще підсумування  $Q(t)$  в часі для визначення кількості продукту.

Реалізація цього принципу вимірювання полягає в тому, що монтується рухлива у вертикальному напрямку ділянка конвеєра (рис. 14.1), яка має фіксовану довжину  $L_n$ , і ця ділянка зважує матеріал, що знаходиться на стрічці  $P_p$ . В результаті отримують миттєве значення погонного навантаження:

$$q(t) = \frac{P_p}{L_n}, [кг/м].$$

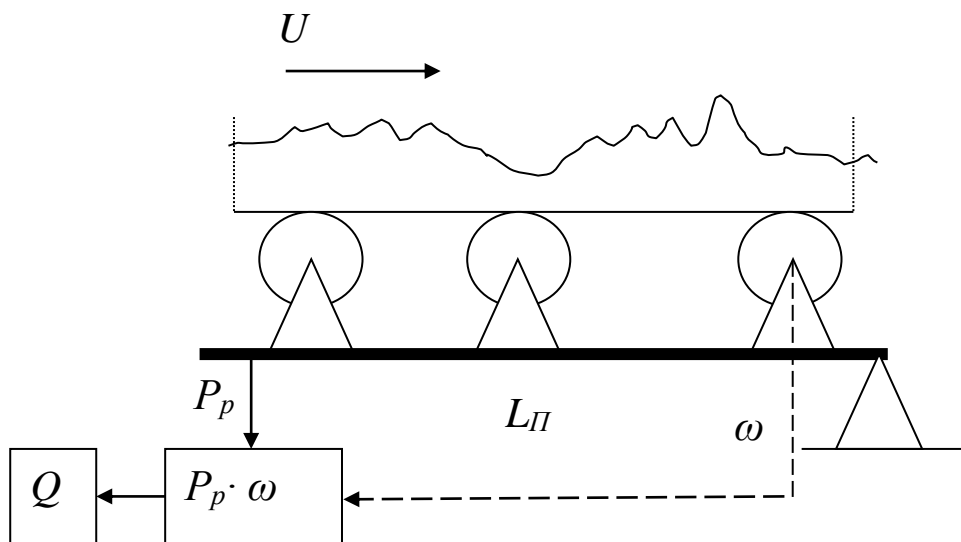


Рисунок 14.1. – Схема вимірювання витрати сипкого матеріалу на конвеєрній стрічці

Вимірюють також швидкість стрічки, наприклад, шляхом вимірювання швидкості обертання  $\omega$  одного з роликів опори транспортерної стрічки. Лінійна швидкість точки поверхні ролика показує швидкість транспортерної стрічки, яка складає:

$$U = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \omega,$$

де  $R$  – радіус вимірювального ролика,  $\omega$  – частота обертання ролика.

Таким чином, вимірюючи частоту обертання ролика, тим самим будемо фіксувати швидкість стрічки конвеєра:

$$\omega = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot R}.$$

Зважування кількості матеріалу, що знаходиться на конвеєрній стрічці проводиться за допомогою важільних терезів, умовою рівноваги яких буде:

$$P_p \cdot L_{\Pi} = P_r \cdot l_2,$$

де  $P_p$  – маса матеріалу, що знаходиться на стрічці;  $L_{\Pi}$  – фіксовану довжина конвеєрної стрічки ( $L_{\Pi} = const$ );  $l_2$  – наведене плече терез;  $P_r$  – маса гирі противаг ( $P_r = const$ ).

Довжина вимірювального плеча буде пропорційна погонному навантаженню:

$$l_2 = L_{\Pi} \cdot \frac{P_p}{P_r}.$$

Виконавши зворотні перетворення, отримаємо:

$$P_p(t) = l_2 \cdot \frac{P_r}{L_{\Pi}} = l_2 \cdot K_B,$$

звідки рівняння витрати:

$$Q = l_2 \cdot \frac{P_r}{L_{\Pi}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot \omega = \frac{P_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_p}{L_{\Pi}} l_2 \cdot \omega = K \cdot l_2 \cdot \omega. \quad (14.6)$$

Коефіцієнт  $K$  рівний:

$$K = \frac{P_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_p}{L_{\Pi}}, \text{ [кг/м]}.$$

Таким чином, ми отримали лінійне рівняння залежності витрати сухого навантаження (без врахування вологості) в функції швидкості стрічки конвеєра і довжини вимірювальної частини важеля терезів.

### 14.3. Витрати бінарних потоків

Коли вологість потоку істотна і він транспортується самопливом в нерухомому лотку, тоді витрату такого бінарного потоку можна розрахувати у наступний спосіб.

Якщо цей потік рухається у похилому жолобі самопливом, то чим більше витрата потоку, тим більше його висота. В цьому випадку прийнятним способом оцінки його витрати є силова взаємодія потоку з будь-яким предметом, що перешкоджає цьому рухові: чим більше силовий вплив, тим більше витрата.

Припустимо маємо потік пульпи (рис. 14.2).

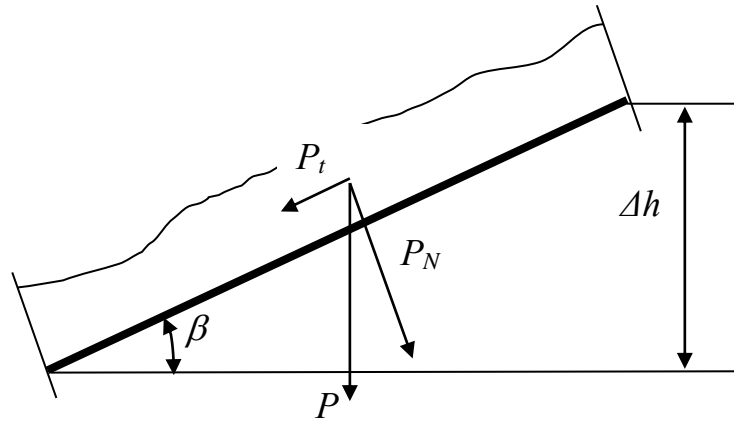


Рисунок 14.2. – Схема переміщення потоку пульпи по похилому жолобу

Швидкість руху потоку визначається кутом нахилу жолоба  $\beta$ :

$$U_{\Pi} = g \cdot (\cos \beta - f \cdot \sin \beta) \cdot \Delta t,$$

де  $\Delta t$  – період часу руху потоку від початку до зустрічі з вимірювальним елементом.

Силовий вплив визначається швидкісним напором  $P$  і площею  $S_{\Pi}$  чутливого елемента

$$F = P \cdot S_{\Pi} = \frac{U^2}{2 \cdot g} \cdot \delta_{\Pi} \cdot S_{\Pi}, \quad (14.7)$$

де  $\delta_{\Pi}$  – щільність пульпи.

Коли потік пульпи висотою  $h$  рухається в лотку з шириною  $B$  зі швидкістю  $U_{\Pi}$ , то масова витрата визначається із виразу

$$Q_{\Pi} = U_{\Pi} \cdot B \cdot h \cdot \delta_{\Pi}, \text{ [кг/с]}.$$

Щоб фіксувати витрату і не перешкоджати переміщенню пульпи в потік вводять досить вузьку поперечну смужку (датчик) шириною  $L_{\Pi}$ , витрата на яку припадає:

$$\Delta Q_{\Pi} = U_{\Pi} \cdot B \cdot h \cdot \delta_{\Pi}.$$

А так як:

$$Q_{\Pi} = \sum \Delta Q_{\Pi} = U_{\Pi} \cdot B \cdot h \cdot \delta_{\Pi} \cdot L_{\Pi} \cdot \frac{B}{L_{\Pi}}, \quad (14.8)$$

то вимірюючи витрату частини потоку можна судити про витрату потоку в цілому.

Фіксують витрату частини потоку за допомогою силового впливу, яке залежить від швидкості. Тоді, цей параметр повинен бути

обов'язково стабілізованим для чого виконують жорстку установку кута нахилу лотка ( $\beta$ ) і місце подачі пульпи в лоток ( $\Delta h$ ).

Силовий вплив потоку на перешкоду, що поставлена поперек його руху, становить:

$$F = \frac{U_{\Pi}^2}{2 \cdot g} \cdot \delta_{\Pi} \cdot h_{\Pi} \cdot L_{\Pi},$$

де  $h_{\Pi}$ ,  $L_{\Pi}$  – відповідно, ширина та довжина смужки.

З іншого боку, висота потоку  $h$  з витратою  $Q$ , шириною лотка  $B$  і щільністю пульпи  $\delta_{\Pi}$ , складатиме:

$$h_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{U_{\Pi} \cdot B \cdot \delta_{\Pi}}.$$

Перешкода виконує функцію вимірювального важеля з параметрами, що показані на рис. 14.3. Рівняння рівноваги такого важеля в потоці пульпи:

$$P \cdot l_1 = F \cdot l_2.$$

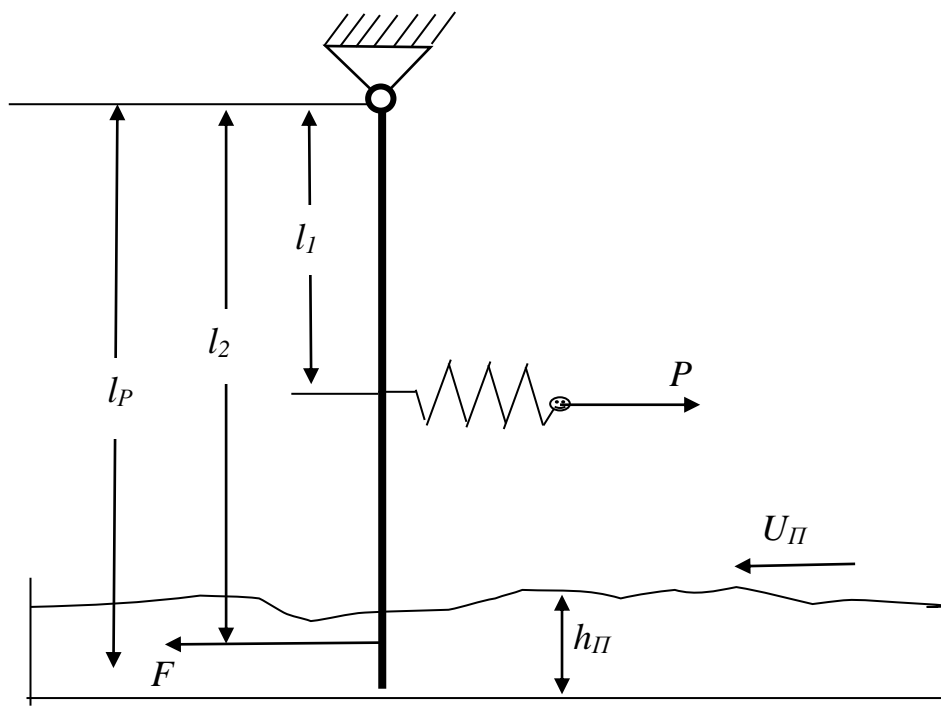


Рисунок 14.3. – Схема виміру витрати потоку пульпи

Висловимо параметри важеля через параметри потоку:

$$P \cdot l_1 = F \cdot \left( l_P - \frac{h}{2} \right).$$

З рівняння Бернуллі швидкість потоку в похилому лотку дорівнює:

$$U_{\Pi} = \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевих втрат напору потоку пульпи;  $\Delta h$  – натиск пульпи.

З урахуванням цього виразу, висота потоку в прямокутному лотку складатиме:

$$h_{\Pi} = \frac{Q}{B \cdot \delta_{\Pi} \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}}.$$

А силовий вплив на вимірювальний важіль дорівнюватиме:

$$F = \frac{(\xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h})^2 \cdot h_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} \cdot L_{\Pi} \cdot Q}{2 \cdot g \cdot B \cdot \delta_{\Pi} \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}} = \frac{\xi \cdot L_{\Pi} \cdot Q}{B} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{2 \cdot g}}. \quad (14.9)$$

Як випливає з формули і відповідно до рис. 14.3, при збільшенні витрати пульпи зменшується довжина плеча важеля силового впливу пульпи, в той час як довжина плеча, що компенсує цю силу, залишається сталою. Це тягне за собою додаткову залежність сили взаємодій від висоти потоку. Для того, щоб компенсувати таке явище необхідно будь-який вимірювальний параметр зробити автоматично чутливим до умов, що змінюються, наприклад, це може бути ширина вимірювального важеля.

Закон зміни ширини важеля підберемо з таких міркувань.

Висловимо силову компенсацію пружини через параметри потоку:

$$P = F \cdot \frac{l_p - \frac{h_n}{2}}{l_1} = \frac{\xi \cdot L_{\Pi} \cdot Q}{B} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{2 \cdot g}} \cdot \left( \frac{l_p}{l_1} - \frac{h_{\Pi}}{2 \cdot l_1} \right).$$

Однак витрата пульпи:

$$Q = B U_{\Pi} h_{\Pi} \delta_{\Pi},$$

тоді:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\xi \cdot L_{\Pi} \cdot B \cdot U_{\Pi} \cdot h_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi}}{B} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{2 \cdot g}} \cdot \left( \frac{l_p}{l_1} - \frac{h_{\Pi}}{2 \cdot l_1} \right) = \\ &= \xi \cdot L_{\Pi} \cdot U_{\Pi} \cdot h_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{2 \cdot g}} \cdot \left( \frac{l_p}{l_1} - \frac{h_{\Pi}}{2 \cdot l_1} \right) \end{aligned} \quad (14.10)$$

Як видно з останнього виразу, з'являється додаткова залежність від висоти потоку, що призводить до похибки, оскільки постійне

значення плеча компенсується змінною довжиною другого плеча. З цієї причини необхідно, щоб який-небудь параметр важеля змінювався автоматично. Це може бути ширина важеля. Зміна ширини вимірювального важеля повинно бути таким, щоб вимірювана величина мала лінійну залежність від витрати. Для вирішення такого завдання візьмемо похідну від виразу (14.10) для  $P$  за висотою потоку  $h_{\Pi}$  і в силу вимог до лінійності зміни приймемо цю похідну константою:

$$P = C \cdot L_{\mathcal{L}} \cdot h_{\Pi} \cdot \left( \frac{l_p}{l_1} - \frac{h_{\Pi}}{2 \cdot l_1} \right); \quad C = \xi \cdot U_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{2 \cdot g}}.$$

Похідна від цього виразу має вигляд:

$$\frac{dP}{dh_{\Pi}} = C \cdot L_{\mathcal{L}} \cdot \frac{l_p}{l_1} - C \cdot L_{\mathcal{L}} \cdot \frac{h_{\Pi}}{l_1} = \frac{C \cdot L_{\mathcal{L}}}{l_1} \cdot (l_p - h_{\Pi}) = C_1.$$

Вирішуючи дане рівняння щодо ширини вимірювального важеля, отримуємо:

$$L_{\mathcal{L}} = \frac{C_1 \cdot l_1}{C \cdot (l_p - h_{\Pi})}. \quad (14.11)$$

Як впливає з цього виразу зі збільшенням висоти потоку пульпи  $h_{\Pi}$  ширина вимірювального важеля повинна збільшуватися і змінюватися від деякого мінімального значення на кінці важеля  $L_{\mathcal{L}min}$  до максимального значення  $L_{\mathcal{L}max}$  (рис. 14.4).

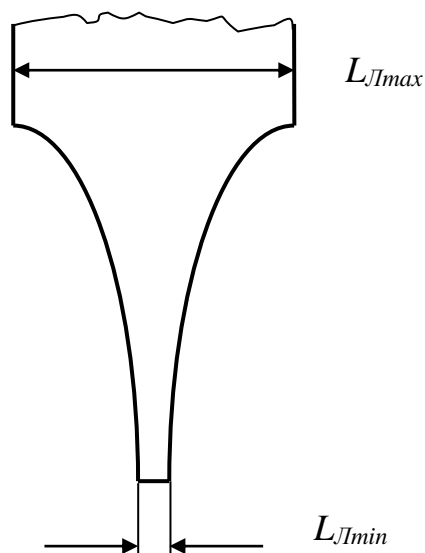


Рисунок 14.4. – Перетин робочої частини вимірювального важеля лоткового витратоміра пульпи

Коефіцієнти  $C$  і  $C_1$  підбираються виходячи з вимог до точності пристрою і конструкторських міркувань при проектуванні подібного витратоміра.

На рис. 14.5 представлена принципова схема реалізації автоматичного вимірювання витрати пульпи за допомогою силової взаємодії потоку пульпи і вимірювального важеля, зануреного в потік пульпи. На рис. використані наступні позначення:  $L$  – компенсаційне лекало;  $P$  – компенсаційний важіль;  $\Pi$  – вимірювальна пружина;  $КС$  – кінематичний зв'язок;  $C$  – стрілка вторинного приладу;  $\text{Ш}$  – відлікова шкала;  $D$  – електричний двигун;  $\text{ПД}$  – підсилювач;  $\text{ДТД}$  – диференційно-трансформаторний датчик;  $P_B$  – вимірювальний важіль;  $O, L$  – обмежувачі переміщення вимірювального важеля.

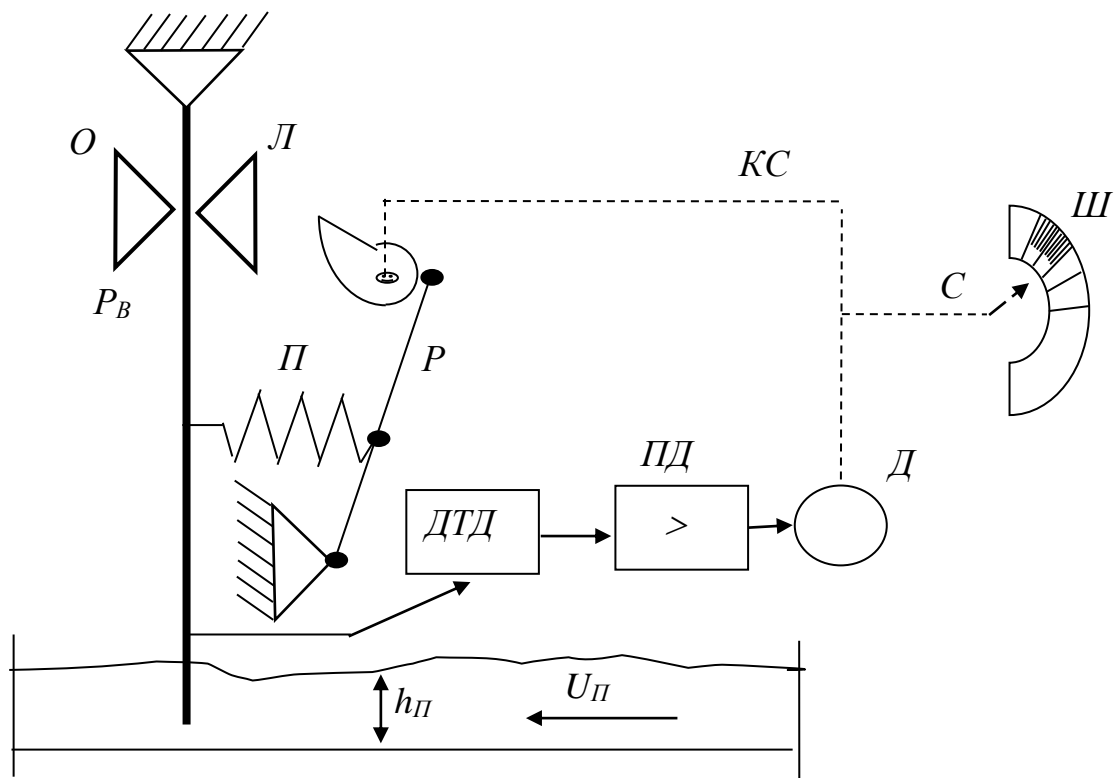


Рисунок 14.5. – Схема фіксації витрати потоку пульпи

Робота такого пристрою здійснюється таким чином. При зміні масової витрати пульпи вимірювальний важіль  $P_B$  відхиляється від рівноважного стану (нульового стану) і  $\text{ДТД}$  фіксує це відхилення відповідним сигналом, який посилюється підсилювачем  $\text{ПД}$  і приводить в обертання двигун  $D$ , який через кінематичний зв'язок  $КС$  і лекало  $L$  змінює натяг вимірювальної пружини. В результаті вимірювальний важіль повертається в нульове положення. Зміна

натягу пружини фіксується за допомогою показу стрілки *C* на шкалі вторинного приладу *Ш*, яка проградуєрована в значеннях витрати пульпи.

Для підвищення точності вимірювання замість пружини може бути ваговимірювальний пристрій (*T*), наприклад, як показано на рис.14.6.

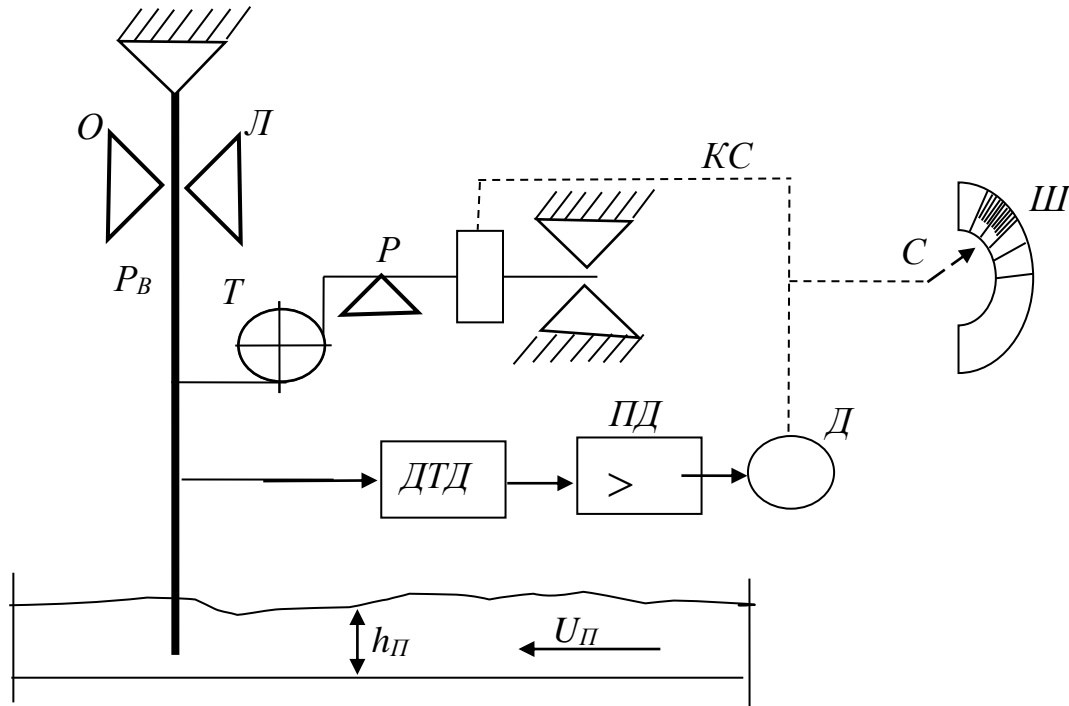


Рисунок 14.6. – Принципова схема вимірювання витрати пульпи лотковим методом

#### 14.4. Вимір об’ємних витрати пульпи і вмісту твердої фази в ній

Значні об’ємні витрати рідин і пульпи з відносно стабільним значенням щільності можуть бути виміряні шляхом контролю висоти потоку, так званими щілинними витратомірами.

Як відомо витрата дорівнює добутку швидкості потоку  $U(t)$  на переріз цього потоку  $S$ . Швидкість визначається швидкісним напором  $\Delta h$  :

$$U(t) = \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h(t)}.$$

Цей же напір визначає і висоту потоку, що виходить з лотка. А переріз потоку, що проходить через щілину прямокутного перетину, буде:  $S = B \cdot \Delta h$ . Таким чином, витрата потоку дорівнює:

$$W(t) = \xi \cdot B \cdot \Delta h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h(t)}.$$

Вирішуючи це рівняння щодо висоти потоку, маємо:

$$\Delta h = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot \xi^2 \cdot B^2}}. \quad (14.12)$$

Оскільки висота потоку і його витрата пов'язані нелінійною залежністю то для лінеаризації перетворення швидкості і висоти потоку необхідно змінювати ширину щілини в міру збільшення висоти потоку. Для визначення закону такої зміни необхідно визначити чутливість цих величин один до одного. Для цього потрібно визначити похідну від функції витрат, а щоб вона була сталою величиною похідна повинна бути нульовою. Отже, візьмемо і прирівняємо її до постійної величини:

$$\frac{dW}{d\Delta h} = \xi \cdot B \cdot \frac{3}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \text{const} = C.$$

Вирішуючи це рівняння, щодо ширини щілини, отримуємо:

$$B = \frac{2 \cdot C}{3 \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}}. \quad (14.13)$$

Таким чином, у міру збільшення витрати потоку видаткову щілину необхідно зменшувати відповідно до даної гіперболічною залежності (рис. 14.7).

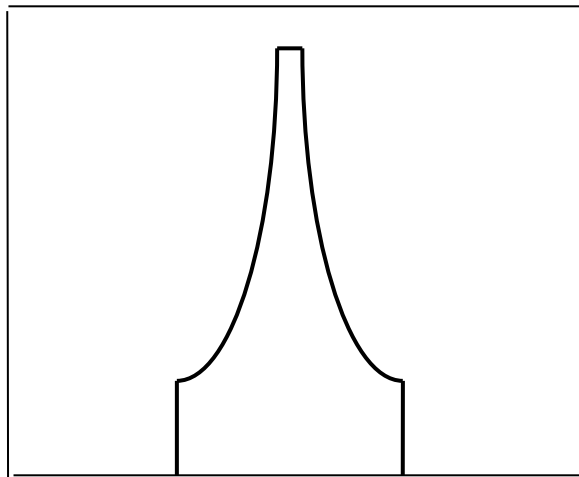


Рисунок 14.7. – Переріз випускного отвору щілинного витратоміра пульпи

В результаті витрата і висота потоку будуть пов'язані лінійно:

$$W = \frac{2 \cdot C}{3 \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}} \xi \cdot \Delta h^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g} = \frac{2 \cdot C \cdot \Delta h^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\Delta h}} = 2 \cdot C \cdot \Delta h. \quad (14.14)$$

Таким чином, домагаються того, що висота потоку пропорційна витраті потоку.

Переріз випускного отвору щілинного витратоміра такий же, як і на рис. 14.7.

Для того, щоб аналогічним способом оцінювати масову витрату пульпи необхідно додатково вимірювати щільність потоку, наприклад, щільність пульпи.

Для реєстрації щільності пульпи (вмісту твердої фази) використовують різноманітні пристрої.

Автоматичне вимірювання щільності виконується в рухомому закритому трубопроводі 1 (рис.14.8). Щільність пульпи в трубопроводі об'єму  $V$  розраховується згідно із визначенням щільності за співвідношенням:

$$\delta = \frac{m_{\Pi}}{V},$$

де  $m_{\Pi}$  – маса пульпи в об'ємі  $V$ .

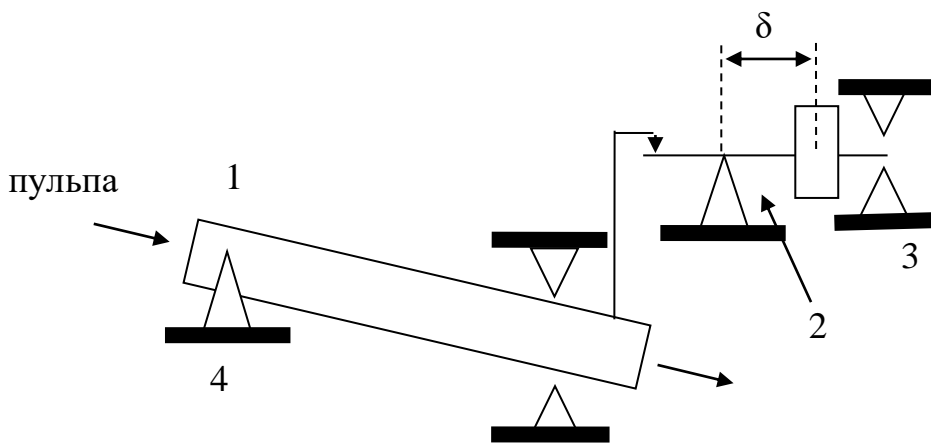


Рисунок 14.8. – Ваговимірювальний пристрій для контролю щільності пульпи

Так як об'єм пульпопроводів постійний, то зміна маси буде пропорційною щільності пульпи (рис. 14.8). Таке вимірювання щільності пульпи включає рухливий пульпопровід 1 шарнірно підвішений з боку підведення пульпи і спирається на ваговимірювальний пристрій 2 з боку зливу пульпи. Вимірювальний

пристрій являє систему важелів з рухомим еталонним вантажем 3. Положення вантажу пропорційне щільності пульпи.

Методична похибка вимірювання щільності пульпи даного пристрою практично відсутня, так як вимірювальний об'єм залишається постійною величиною до повного зносу пристрою. Тому похибка вимірювання визначається приладовою реалізацією і знаходиться шляхом дослідження в період дослідно-промислової експлуатації.

Вручну вимірювання щільності пульпи проводиться мірним кухлем із фіксованим об'ємом (зазвичай 1 літр). Тоді маса наповненого кухля лінійно залежить від щільності пульпи.

В результаті масова витрата пульпи складе:

$$Q = V \cdot \delta_{\Pi}.$$

Однак співвідношення твердої і рідкої фаз залишається невідомим.

Вміст твердої фази є відношення маси частинок  $m_T$  до загальної маси середовища (пульпи)  $m_{\Pi}$ , та складає:

$$p_T = \frac{m_T}{m_{\Pi}} = \frac{m_T}{m_T + m_B},$$

де  $p_T$  – вміст твердої фази, част. од.;  $m_{\Pi}$  – загальна маса середовища (пульпи);  $m_T, m_B$  – маса відповідно, твердої фази та рідкого середовища.

Вирішуючи рівняння щодо  $m_B$ , отримаємо рівняння, яке показує, скільки необхідно додати несучого середовища (води), щоб отримати заданий вміст твердої фази:

$$m_B = m_T \cdot \frac{1 - p_T}{p_T}. \quad (14.15)$$

Функціонально пов'язана з величиною  $p_T$  є щільність пульпи  $\delta_{\Pi}$ . Це більш зручна для контролю величина, так як досить зважити еталонний об'єм з пульпою і будемо мати уявлення про розрідженість пульпи. Знайдемо зв'язок між  $p_T$  та  $\delta_{\Pi}$ . Маса деякого об'єму пульпи  $m_{\Pi}$  складається з маси твердої фази  $m_T$  і води  $m_B$ :

$$m_{\Pi} = m_T + m_B.$$

Виразимо це співвідношення через об'єми:

$$V_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} = V_T \cdot \delta_T + V_B \cdot \delta_B;$$

де  $V_{\Pi}, V_T, V_B$  – відповідно об'єм пульпи, твердої фази та рідини.

Розділимо обидві частини рівняння на  $V_{\Pi}$ :

$$\delta_{\Pi} = \frac{V_T}{V_{\Pi}} \cdot \delta_T + \frac{V_B}{V_{\Pi}} \cdot \delta_B. \quad (14.16)$$

Відношення об'ємних величин є об'ємний вміст відповідного продукту:

$$p_T^o = \frac{V_T}{V_{II}};$$

а оскільки потік двофазний, то  $p_T^o + p_{ж}^o = 1$ . Враховуючи це маємо:

$$\delta_{II} = p_T^o \cdot \delta_T + (1 - p_T^o) \cdot \delta_e. \quad (14.17)$$

Знайдемо тепер зв'язок між об'ємним ( $p_T^o$ ) і масовим ( $p_T$ ) значенням вмісту твердої речовини. Запишемо тотожність:

$$\frac{m_T}{m_{II}} = \frac{V_T \cdot \delta_T}{V_{II} \cdot \delta_{II}}.$$

Звідки:

$$p_T = p_T^o \cdot \frac{\delta_T}{\delta_{II}}; \quad \text{або} \quad p_T^o = p_T \cdot \frac{\delta_{II}}{\delta_T}. \quad (14.18)$$

Підставимо співвідношення (14.18) у (14.17) отримаємо:

$$\delta_{II} = p_T \cdot \frac{\delta_{II}}{\delta_T} \cdot \delta_T + \left(1 - p_T \cdot \frac{\delta_{II}}{\delta_T}\right) \cdot \delta_e, \quad (14.19)$$

після перетворення якого маємо:

$$\delta_{II} = \frac{\delta_e \cdot \delta_T}{\delta_T - p_T \cdot (\delta_T - \delta_e)}, \quad (14.20)$$

та розв'язав його відносно  $p_T$  одержимо:

$$p_T = \frac{\delta_T \cdot (\delta_{II} - \delta_e)}{\delta_{II} \cdot (\delta_T - \delta_e)}. \quad (14.21)$$

Для корисної копалини з незмінним фазовим складом величина  $\delta_T \approx const$ , а  $\delta_e \approx 1000 \text{ кг/м}^3$ , тому, вимірявши величину  $\delta_{II}$  можливо за формулою (14.21) розрахувати вміст твердої фази в пульпі.

Збагачувачі ще користуються величиною «те-к-же»,  $T:P$ , тобто скільки приходитья маси рідини на одиницю маси (чи об'єму) твердого:

$$\frac{T}{P} = \frac{m_T}{m_e}. \quad (14.22)$$

Висловлюючи цю величину з рівняння (14.15) отримаємо:

$$\frac{T}{P} = \frac{p_T}{1 - p_T}.$$

Від цього інтегрального показника розведення пульпи водою можна перейти до мікрорівня її структури – відстані між частинками. Для цього припустимо, що частинки в пульпі розподілені рівномірно і структура їх розподілу матрична, як наведено на рис. 14.9. У вузлах матриці знаходяться частинки однакового розміру  $d$ .

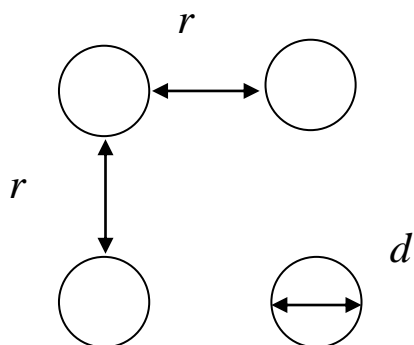


Рисунок 14.9. – Схема рівномірного розподілення частинок твердого в пульпі

Тоді об'ємний вміст твердої фази буде пропорційною відношенню

$$p_T = \frac{d^3}{(d+r)^3}.$$

З огляду на зв'язок між об'ємними і масовими відносинами можна записати рівняння:

$$p_T \cdot \frac{\delta_{II}}{\delta_T} = \frac{d^3}{(d+r)^3}.$$

Розв'язок якого відносно  $r$  дає наступний вираз:

$$r = d \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{\delta_T}{p_T \cdot \delta_{II}}} - 1 \right).$$

Розкриваючи щільності складових членів через їхні компоненти:

$$\delta_T = f(\delta_M, \delta_K); \quad \delta_{II} = f(\delta_T, \delta_J).$$

Одержимо середню відстань між частинками в пульпі:

$$r = d \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{\delta_M \cdot \delta_K \cdot (1 - p_T)}{\delta_B \cdot (\delta_M - \alpha \cdot (\delta_M - \delta_K)) \cdot p_T}} - 1 - 1 \right). \quad (14.23)$$

Оскільки розмір часток є випадковою величиною з деяким законом розподілу, то величина  $r$  буде підкорятися такому ж закону розподілу.

Таким чином, якщо відомі щільності цінного компонента і породи, то вимірюючи щільність пульпи і витрату її можна визначити практично всі параметри потоку пульпи.

## 14.5. Контроль витрат твердого в замкнутому циклі подрібнення

Замкнутий цикл подрібнення має піскове навантаження, кількість якого можна розрахувати за результатами випробування. Визначимо необхідну кількість точок випробування для цього. Баланс кожного класу крупності в замкнутому циклі подрібнення становить рівність класу в зливні млина та сумі цього класу в пісках і зливні класифікатора:

$$Q_m \cdot p_m = Q_z \cdot p_z + Q_n \cdot p_n,$$

де  $Q_m$ ,  $Q_z$ ,  $Q_n$  – масова витрата відповідно зливу млина, зливу класифікатора та піскового продукту;  $p_m$ ,  $p_z$ ,  $p_n$  – вміст вузького класу крупності відповідно у зливні млина, зливні класифікатора та пісковому продукті.

Вирішуючи це рівняння щодо витрати пісків, за умови, що  $Q_m = Q_{\Pi} + Q_z$  отримуємо:

$$Q_n = Q_m \cdot \frac{p_z - p_m}{p_m - p_n}. \quad (14.24)$$

Оцінимо похибку розрахунку піскового навантаження, якщо початкові дані наступні:

$$Q_m = 30; \quad p_{\Pi} = 0,1; \quad p_z = 0,4; \quad p_m = 0,2; \quad \sigma_Q = 1,5; \quad \sigma_{\Pi} = 0,005; \\ \sigma_z = 0,005; \quad \sigma_m = 0,005.$$

$$\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial Q_m} = \frac{p_z - p_m}{p_m - p_n} = \frac{0,4 - 0,2}{0,2 - 0,1} = 2.$$

$$\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial p_z} = Q_m \cdot \frac{1}{p_m - p_n} = 30 \cdot \frac{1}{0,2 - 0,1} = 300.$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial p_m} = Q_m \cdot \frac{p_n - p_z}{(p_m - p_n)^2} = 30 \cdot \frac{0,1 - 0,4}{(0,2 - 0,1)^2} = -900.$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial p_n} = Q_m \cdot \frac{p_z - p_m}{(p_m - p_n)^2} = 30 \cdot \frac{0,4 - 0,2}{(0,2 - 0,1)^2} = 600.$$

$$\sigma^2_{Q_{\Pi}} = (1,5 \cdot 2)^2 + (600 \cdot 0,005)^2 + (900 \cdot 0,01)^2 + (300 \cdot 0,02)^2 = 135 \text{ (кг/с)}^2.$$

$$\sigma_{Q_{\Pi}} = 11,5 \text{ кг/с}.$$

При продуктивності подрібнення 100 т/год відносна похибка складе 0,01%.

Таким чином, шляхом вимірювання якісних показників потоку можна досить точно визначати кількісні показники – витрати потоку руди.

### 14.6. Контроль масової витрати пульпи

Коли пульпа транспортується у вигляді водозливу (рис. 14.9), то для контролю масової витрати необхідно вимірювати висоту потоку  $\Delta h_{\Pi}$  і масу  $P_{\Pi}$ .

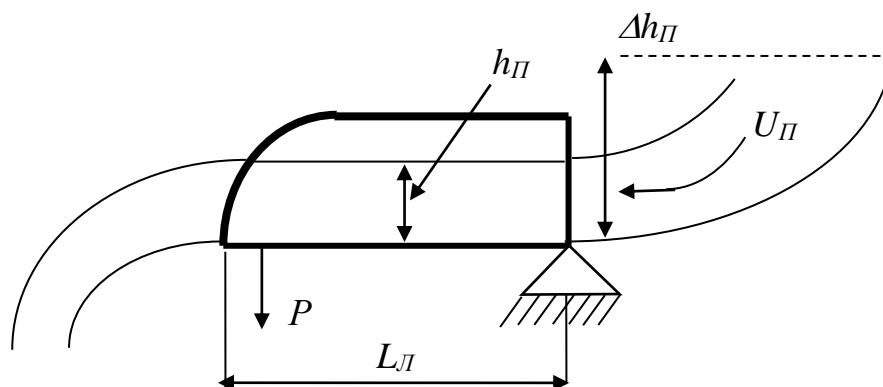


Рисунок 14.9. – Лотковий витратомір

Маса може бути виміряна шляхом зважування рухомого лотка. Масова витрата потоку розраховується за формулою:

$$W_{\Pi} = \xi \cdot B \cdot h_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \frac{\xi}{L_{\Pi}} \cdot P_{\Pi} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}, \quad (14.25)$$

де:  $B$  – ширина лотка;  $\xi$  – коефіцієнт місцевих втрат напору лотка;  $\delta_{\Pi}$  – щільність потоку;  $L_{\Pi}$  – довжина лотка з пульпою.

Методична похибка вимірювання витрати пульпи цим пристроєм практично відсутня, так як вимірювальний об'єм лотка залишається постійною величиною до повного зносу пристрої. Тому погрішність вимірювання визначається приладової реалізацією і знаходиться шляхом дослідження в період дослідно-промислової експлуатації.

### 14.7. Витрата рідини сталої щільності

Витрата однорідної рідини з постійною щільністю вимірюють за допомогою діафрагми (рис .14.10) в напірному (закритому)

трубопроводі. При проходженні рідини через діафрагму, згідно закону Бернуллі, виникає різниця статичних тисків до неї  $P_1$  і після  $P_2$ . Ці тиски передаються по трубках на манометри і за різницею цих тисків судять про витрату рідини.

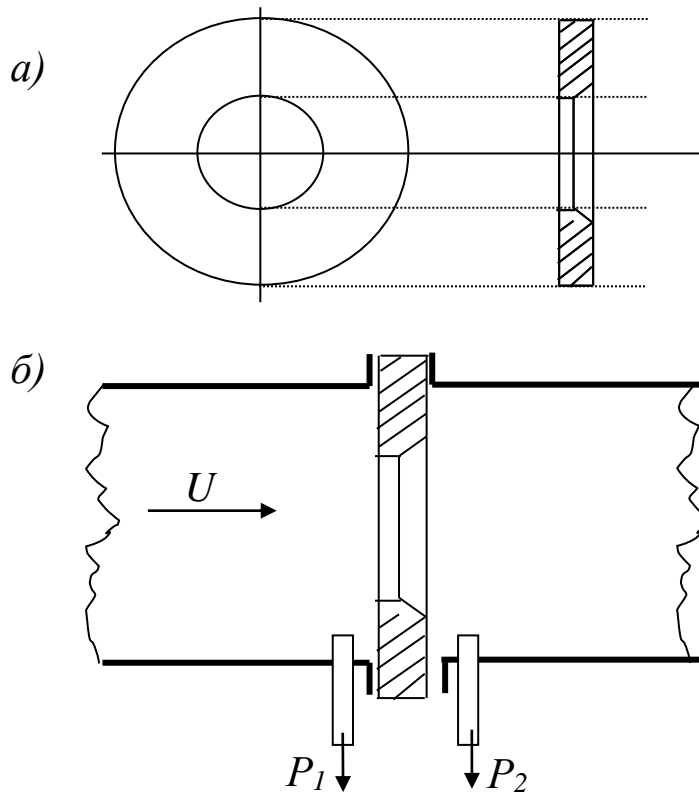


Рисунок 14.10. – Схема вимірювальної діафрагми (а) і її установки в напірному трубопроводі (б)

З рівняння Бернуллі відомо, що висота швидкісного тиску, що виникає під час руху рідини пропорційна швидкості потоку  $\left( \Delta h = \frac{U^2}{2 \cdot g} \right)$ . Звідки можна визначити швидкість  $U = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ , а витрату як:

$$W = S \cdot U = S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

де  $S$  – переріз отвору діафрагми. Таким чином, вимірюючи тільки  $\Delta h$  можна судити про об’ємну витрату рідини із відомою щільністю.

Такі діафрагми істотно знижують напірні характеристики потоку, тому для зменшення витрат застосовують так звані трубки Вентурі (рис. 14.11...14.14).

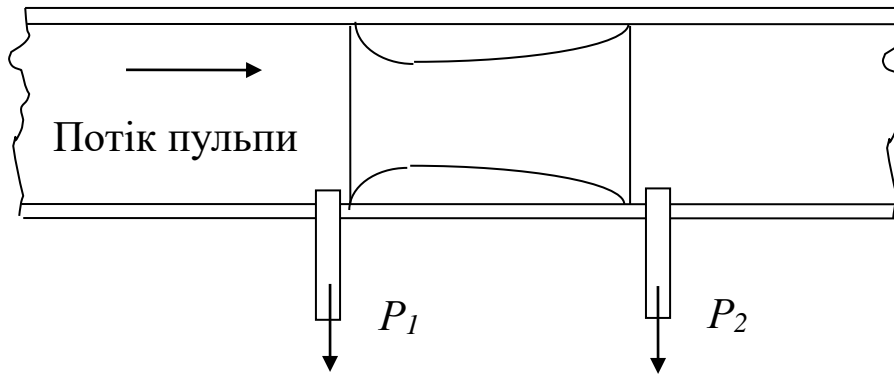


Рисунок 14.11. – Схема трубки Вентурі для вимірювання витрат рідин

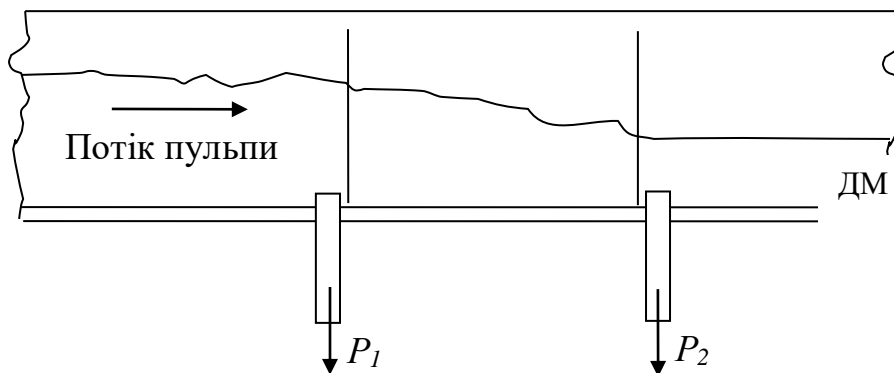


Рисунок 14.12. – Схема лотка Вентурі і фіксування витрати потоку за допомогою диференціального манометра ( вид збоку)

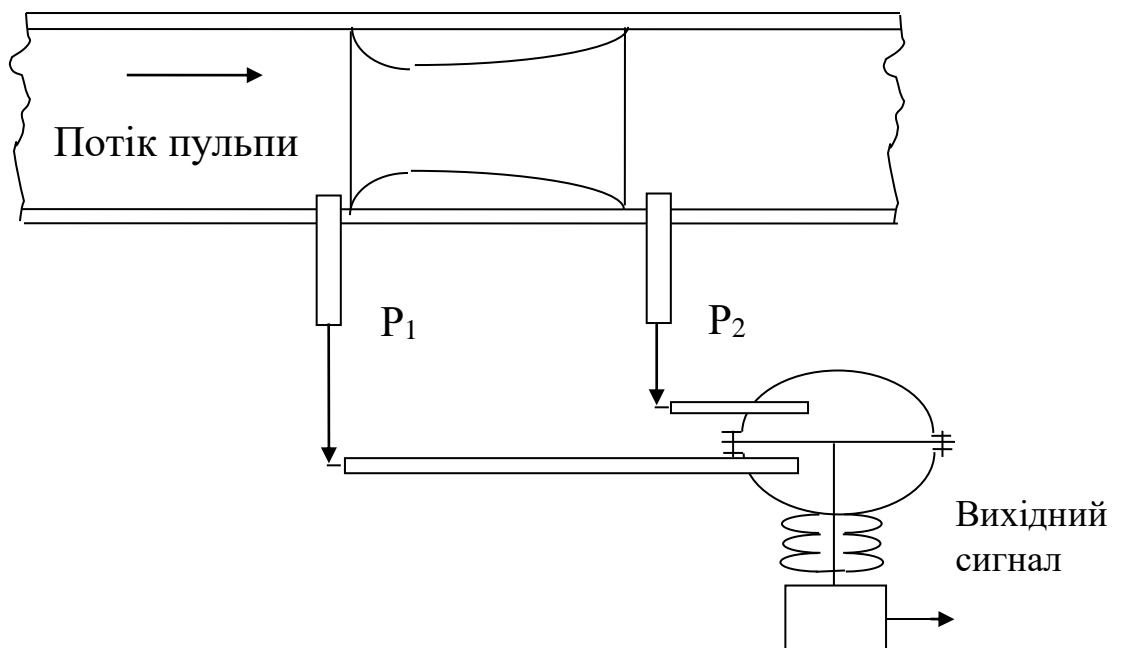


Рисунок 14.13. – Схема лотка Вентурі і фіксування витрати потоку за допомогою диференціального манометра ДМ.( вид зверху)

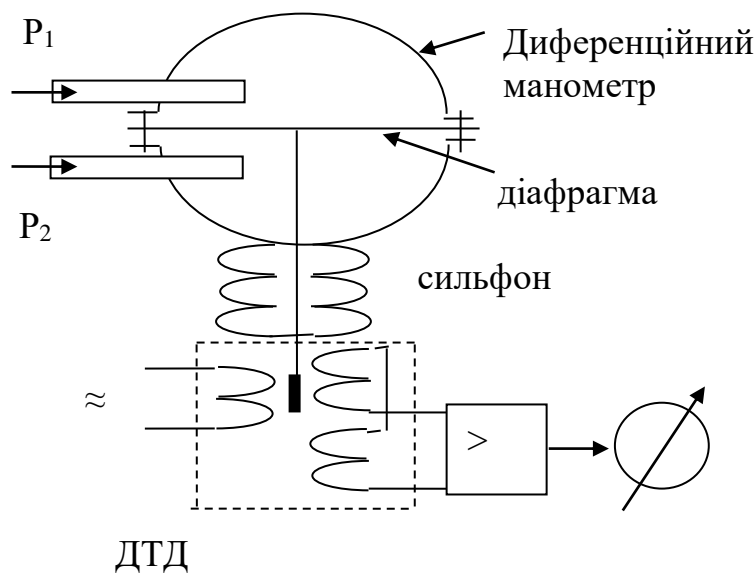


Рисунок 14.14. – Диференціальний манометр з диференційно-трансформаторним перетворювачем.

У таких трубках 1 є ділянка 2, де відбувається звуження перерізу за певною аеродинамічною залежністю (коноїдальний переріз), яка практично не утворює локальних вихорів в потоці. Лотки і трубки Вентурі знижують тільки втрати напору, але теоретичне обґрунтування вимірювання витрати залишається без зміни у порівнянні з вимірюванням витрати за допомогою діафрагми. Лотки застосовуються для вимірювання великих витрат в каналах.

Методична похибка вимірювання витрат за допомогою розглянутих методів залежить від випадкової зміни напору і від зносу діафрагми, або лотка. Основна похибка вимірювання пов'язана з його приладною реалізацією і чим вище клас точності вторинного приладу тим точніше вимірювання витрати.

## 14.8. Вимір мас у ємностях і витрати сипких продуктів

Процедура визначення ваги продуктів називається *зважуванням*.

Вихідний матеріал зважується в тарі (вагони, автосамоскиди), з використанням якої матеріал потрапляє на підприємство. Найбільш точними вагами являються важільні, з коромисловим шкальним пристроєм (рис. 14.15). Ваги складаються з платформи 1, яка пов'язана важелями із одним з плечей коромисла 2. За положенням

вимірювальної маси 3 судять про масу тари з корисною копалиною:  
 $P \equiv M_C$ .

Похибка такого способу вимірювання витрати корисної копалини визначається положенням вантажу на вимірювальній платформі і чутливості важеля вимірювальної системи.

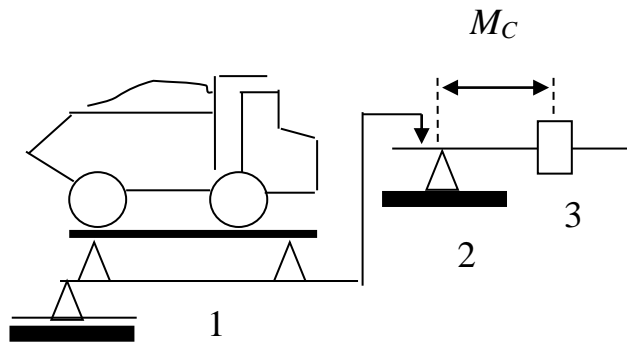


Рисунок 14.15. – Схема зважування нерухомих мас

## 14.9. Принципи випробування технології переробки сировини

Забезпечення заданих показників якості виробленої продукції досягається постійним контролем. Більшість параметрів вимірюється за допомогою неавтоматизованих методик, тому процес випробування і контролю досить дорогий. Схема і регламент відбору проб відпрацьовується в процесі експлуатації технології, тобто підбирається експериментально, за принципом, що надлишок інформації також шкідливий, як і її недостатність.

Основним документом, що дозволяє визначити усі витрати на виробництво, є технологічний баланс. Для складання цього балансу необхідно мати дані про якісні показники початкового продукту ( $\alpha$ ), продуктів виробництва: концентрату ( $\beta$ ) і хвостів ( $\nu$ ); а також об'єм, або вагу сировини ( $Q_P$ ) на початку технології. Після розрахунку виходу концентрату:

$$\gamma = \frac{\alpha - \nu}{\beta - \nu},$$

нескладно знайти його значення в натуральному вигляді:

$$Q_K = Q\gamma.$$

При відвантаженні концентрату споживачу його обов'язково зважують, і може виявитися, що кількість виробленого концентрату, наприклад, менше його можливого значення, отже, технологія є збитковою. Коли концентрат відвантажують споживачу, вже шукати причини дисбалансу між кількістю сировини, що надійшла, і

виробленою продукцією, важко, тож необхідно вести постійний контроль проміжних продуктів. Виникає питання: "У яких точках технологічного ланцюга вести контроль, щоб отримати достатню кількість інформації?"

Припустимо, є деяка стадіальна технологічна схема із зворотними зв'язками, що зображена на рис. 14.16. Задача розрахунку полягає в тому, щоб визначити виходи продуктів (стосовно початкового продукту) на підставі значень вмісту цінного мінералу в продуктах розділення. У даній схемі є 12 продуктів. Позначимо їх виходи наступними індексами:  $\gamma_1, \gamma_1^1, \gamma_2, \gamma_2^1, \gamma_3, \gamma_3^1, \gamma_3^{11}, \gamma_4, \gamma_4^1, \gamma_4^{11}, \gamma_5, \gamma_5^1$ .

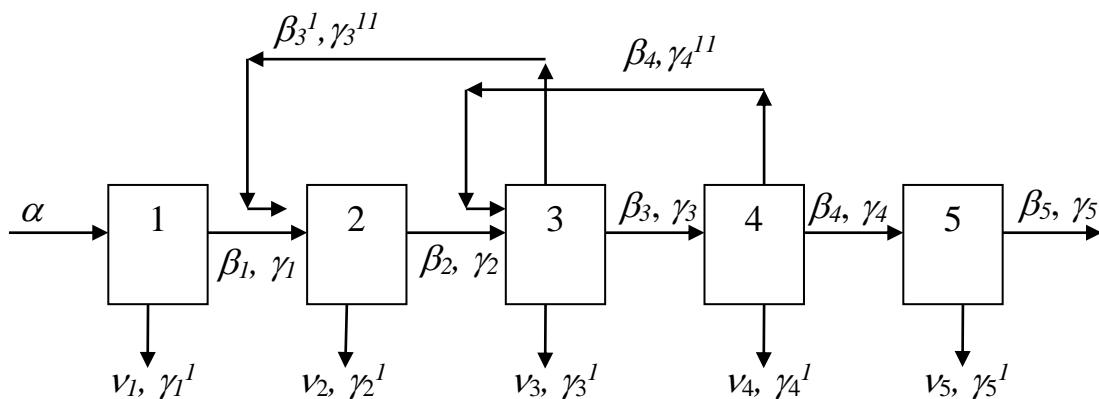


Рисунок 14.16. – Технологічна схема збагачення корисної копалини

Отже, необхідно мати 12 рівнянь балансу. Для цієї схеми така система має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \alpha = \beta_1 \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot \gamma_1^1 \\
 \beta_1 \cdot \gamma_1 + \beta_3^1 \cdot \gamma_3^{11} = \beta_2 \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot \gamma_2^1 \\
 \beta_2 \cdot \gamma_2 + \beta_4^1 \cdot \gamma_4^{11} = \beta_3 \cdot \gamma_3 + v_3 \cdot \gamma_3^1 + \beta_3^1 \cdot \gamma_3^{11} \\
 \beta_3 \cdot \gamma_3 = \beta_4^1 \cdot \gamma_4^{11} + \beta_4 \cdot \gamma_4 + v_4 \cdot \gamma_4^1 \\
 \beta_4 \cdot \gamma_4 = \beta_5 \cdot \gamma_5 + v_5 \cdot \gamma_5^1 \\
 \beta_1 \cdot \gamma_1 = \beta_5 \cdot \gamma_5 + v_2 \cdot \gamma_2^1 + v_3 \cdot \gamma_3^1 + v_4 \cdot \gamma_4^1 + v_5 \cdot \gamma_5^1 \\
 \beta_1 \cdot \gamma_1 = \beta_4 \cdot \gamma_4 + v_2 \cdot \gamma_2^1 + v_3 \cdot \gamma_3^1 + v_4 \cdot \gamma_4^1 \\
 \gamma_1 + \gamma_1^1 = 1 \\
 \alpha = \beta_5 \cdot \gamma_5 + v_1 \cdot \gamma_1^1 + v_2 \cdot \gamma_2^1 + v_3 \cdot \gamma_3^1 + v_4 \cdot \gamma_4^1 + v_5 \cdot \gamma_5^1 \\
 \alpha = \beta_4 \cdot \gamma_4 + v_1 \cdot \gamma_1^1 + v_2 \cdot \gamma_2^1 + v_3 \cdot \gamma_3^1 + v_4 \cdot \gamma_4^1 \\
 \gamma_4 = \gamma_5 + \gamma_5^1 \\
 \gamma_3 = \gamma_4 + \gamma_4^1 + \gamma_4^{11}
 \end{array} \right. \quad (14.26)$$

Тож зробивши випробування 13 потоків, за даною системою однозначно знаходять виходи всіх продуктів.

Цю систему можна доповнити ще іншими рівнозначними рівняннями:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^5 \gamma_i^1 v_i}{\sum_{i=1}^5 \gamma_i^1}; \quad v_4 = \frac{\sum_{i=1}^4 \gamma_i^1 v_i}{\sum_{i=1}^4 \gamma_i^1}; \quad \gamma_5 = \gamma_k = \frac{\alpha - v}{\beta - v}, \quad (14.27)$$

що можуть служити для додаткової перевірки правильності рішення системи і коректування вихідних даних.

Система рівнянь виходить лінійною і рішення її роблять методом простих ітерацій, оскільки ітеративні процедури не накопичують похибки і можна отримати будь якої високої точності рішення.

Рівняння (14.27) є тавтологіями системи (14.26), тому рішення системи (14.26) єдине. Звідси випливає, що для однозначної ідентифікації технологічного режиму необхідно контролювати наступні показники:

- початковий продукт:  $\alpha$ ;
- вихідні продукти:  $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, \beta_5$ ;
- проміжні продукти:  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_3^1, \beta_3^2$ .

Усе це дозволяє сформулювати принцип складання схеми випробування: контролювати необхідно ті продукти, що дозволяють скласти технологічний баланс. Ця вимога оформлюється математично у вигляді системи рівнянь, кількість незалежних коефіцієнтів у якій дорівнює кількості змінних.

Збагачувальну фабрику в цілому можна вважати єдиним технологічним блоком бінарного розділення (якщо виробляється один концентрат). Тоді для складання технологічного балансу досить провести три випробування якісних показників наступних продуктів: початкового ( $\alpha$ ), концентрату ( $\beta$ ) і відходів ( $v$ ). Витрата концентрату та відходів визначиться із рівняння:

$$Q_K = Q_P \frac{\alpha - v}{\beta - v}; \quad Q_B = Q_P (1 - \gamma).$$

Величина  $Q_P$  – початкова витрата руди, яка надходить з кар'єру, вимірюється стрічковими вагами.

При цьому повинно виконуватися умова:  $\beta_K \geq \beta_{K3}$  і  $v_B \leq v_{BM}$ . Якщо ж відбудеться одна із подій  $\beta_K < \beta_{K3}$  чи  $v_B > v_{BM}$ , то це значить,

що якась із секцій (чи декілька з них) працюють не в заданому режимі, тож необхідно з'ясувати яка саме секція і перевірити її параметри. Тому перевіряють ще кожен секцію:  $\alpha_i, \beta_i, v_i$ . Для них також повинно виконуватися попередня умова:  $\beta_K \geq \beta_{K3}$  і  $v_B \leq v_{BM}$ .

На кожній секції встановлюються конвеєрні ваги, а концентрат, що прямує на склад, також зважується та береться проба на вологість, і тому технологічний баланс завжди можна звести. Таким чином, мінімальна кількість точок випробування це:  $\alpha \dots \alpha_n, \beta \dots \beta_n, v \dots v_n$ , де  $n$  – кількість секцій збагачення на фабриці.

Всі інші точки випробування вибираються з міркування швидкої оцінки причин можливої нерегламентованої роботи. Такий вибір заснований на існуючих у технології кореляційних зв'язках. На рис. 14.17 показаний нормований граф кореляційних зв'язків у тристадійній технології збагачення руд.

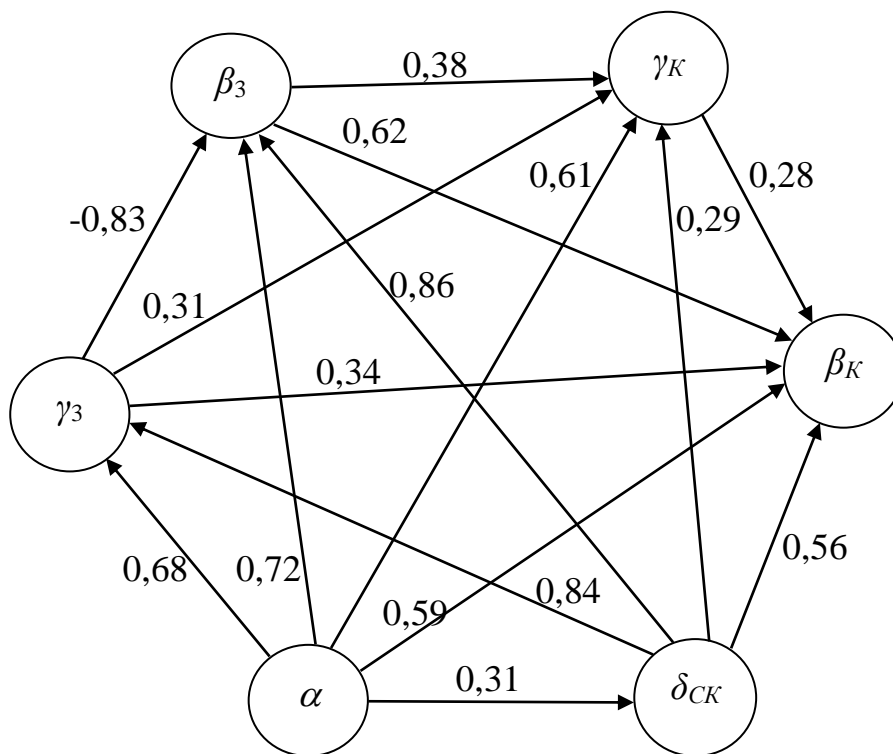


Рисунок 14.17. – Нормований граф кореляційних зв'язків між змінними, що характеризують злив класифікатора ( $\alpha$  – вміст цінного компонента,  $\delta_{СК}$  – щільність пульпи) першої стадії, проміжний продукт магнітного сепаратора першої стадії ( $\gamma_Z, \beta_Z$  – вихід и вміст цінного компоненту ) и концентрат ( $\beta_K, \gamma_K$ , – вміст цінного компоненту и вихід )

Кожна дуга графу є кореляційною оцінкою тісноти зв'язку між змінними. Чим більше за абсолютним значенням коефіцієнт, тим більш істотно впливає показник на якість концентрату. У даному випадку це може бути щільність пульпи зливу класифікатора і вміст цінного компонента. Але якість початкової руди є збуджуючим фактором, а щільність пульпи зливу класифікатора може бути керуючим впливом.

На рис. 14.17 показано кореляційний зв'язок між показниками першої стадії магнітної сепарації і параметрами концентрату. Звідки видно, якщо змінювати параметри в першій стадії, то це буде істотно впливати на показники концентрату.

Наприклад, є технологія збагачення залізних руд. Випробування відбувається точково і тому окремо узяті значення якісного показника є випадковим. Разом з тим, технологічний баланс повинний бути детермінованим. Тому коректно скласти за окремими випробуваннями технологічний баланс неможливо. Необхідно деяке осереднення. Об'єм вибірки для цього підбирається наступним чином.

Будь-яка технологія переробки сировини не накопичує його в собі після деякого встановленого режиму. І умовою її нормальної експлуатації є технологічний баланс:

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^n Q_{ВИХi},$$

тобто рівність витрат початкового ( $Q_{\Pi}$ ) і вихідних ( $\sum Q_{ВИХi}$ ) потоків. Однак, за результатами технологічного випробування не вдається одержати такої рівності за короткі проміжки часу. Необхідно приймати в розрахунок значення витрат, що відстоять одне від другого на період еквівалентного запізнювання. Тоді ймовірність результатів підвищується, і при цьому, істотно, буде підвищений кореляційний зв'язок, а технологічний баланс повинний бути безперечним і тому розрахункові співвідношення також повинні бути пов'язані функціональними залежностями. Пропонується методика, що задовольняє цій обов'язковій умові.

Баланс продуктів будь-якої технології описується відомою рівністю:

$$Q_{\Pi} \cdot \alpha = Q_K \cdot \beta + Q_B \cdot \nu, \quad (14.28)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  – вміст цінного компонента у початковому продукті, концентраті і відходах;  $Q_K$ ,  $Q_B$  – витрата потоків концентрату і відходів.

За результатами нормальної експлуатації в процесі випробування отримані, наприклад, погодинні показники якості  $Q_{II}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ . Інші показники обчислюються за відповідними виразами:

$$Q_K = Q_{II} \cdot \gamma; \quad Q_B = Q_{II} \cdot (1 - \gamma); \quad \gamma = \frac{\alpha - \nu}{\beta - \nu}.$$

У результаті маємо чотири випадкових дискретних процеси:  $Q_{Pi}$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\nu_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ . Якщо узяти по одному значенню з кожного процесу з однаковими значеннями індексу, то за рахунок того, що дисперсія кожного процесу відрізняється від нуля то, рівності (14.28) не буде отримано. Коли ж дисперсії процесів нульові (процеси детерміновані), то рівність (14.28) буде дотримуватися. Звідси випливає висновок про необхідність формування з процесів  $Q_{Pi}$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\nu_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  таких, у яких дисперсія буде близькою до нуля. Цього можна домогтися ковзним підсумовуванням чи формуванням оптимального фільтру. Застосування цього методу покажемо на прикладі одного процесу, хоча для технологічного балансу необхідно буде виконувати його для всіх процесів відразу.

Допустимо, є випадковий процес  $X^{(0)}$ . Розраховується його математичне очікування і дисперсія  $D^{(0)}$ . Формуємо з цього процесу наступний процес, ординати якого наступні:  $X^{(1)} = \frac{X_i^{(0)} + X_{i+1}^{(0)}}{2}$  і розраховуємо для нього дисперсію  $D^{(1)}$ . Формуємо третій процес з ординатами:  $X^{(2)} = \frac{X_i^{(0)} + X_{i+1}^{(0)} + X_{i+2}^{(0)}}{3}$  і одержуємо дисперсію  $D^{(2)}$ . Співвідношення між дисперсіями:  $D^{(0)} > D^{(1)} > D^{(2)}$ . Крім того:  $D^{(0)} - D^{(1)} > D^{(1)} - D^{(2)}$ . На цій підставі припускаємо, що зміна дисперсії пропорційна самій дисперсії:

$$\frac{\Delta D}{\Delta i} = -k \cdot D.$$

Рішення цього рівняння тривіально і має вид:

$$\ln D = -ki + C;$$

при  $i = 0, C = \ln D^{(0)}$ , а при  $i \rightarrow \infty, C = 0$ .

Тоді: 
$$D = D^{(0)} \cdot \exp(-ki).$$

Коефіцієнт визначимо на підставі умови:

$$D^{(1)} = D^{(0)} \cdot \exp(-k_1).$$

Звідки: 
$$k = \ln \frac{D^{(0)}}{D^{(1)}}.$$

Таким чином, остаточне рішення має вигляд:

$$D = D^{(0)} \cdot \exp\left(-\ln\left(\frac{D^{(0)}}{D^{(0)}} i\right)\right) \quad (14.29)$$

Всі розрахунки виконуються з деякою похибкою і тому задається деяка допустима похибка  $\sigma_{ДОП}^2$ . Цього досить, щоб визначити кількість інтервалів, прийнятих для осереднення:  $i_y$ , тобто виконавши зворотне перетворення співвідношення (14.29) за умови, що  $D = \sigma_{ДОП}^2$ , одержимо:

$$i_y = \frac{\ln\left(\frac{\sigma^2}{D^{(0)}}\right)}{\ln\left(\frac{D^{(1)}}{D^{(0)}}\right)}.$$

Маємо тепер інтервал осереднення, і можемо розраховувати технологічний баланс за будь-який проміжок часу, починаючи з моменту  $T = i_y \cdot \Delta t$  від початку випробування, приймаючи до уваги величину осереднення за проміжок часу  $T$ .

Але, згадана закономірність асимптотично прямує до стабільного значення, тому потрібна така методика, що забезпечую мінімальну стабільну дисперсію виходу продукту.

Припустимо, що на фабрику надходить цінний компонент у кількості  $Q_{П} \cdot \alpha$ , де  $Q_{П}$ ,  $\alpha$  – валова кількість сировини і масовий вміст цінного компонента в ньому. Кількість вихідних продуктів у збагачувальній технології мінімум два: збагачений продукт (концентрат) із вмістом цінного компонента  $\beta_K$  у кількості  $Q_K$  і збіднений продукт – відходи ( $Q_B, v_B$ ). Тоді баланс цінного компонента очевидний:

$$Q_{П} \cdot \alpha = Q_K \cdot \beta + Q_B \cdot v.$$

Відношення  $\frac{Q_K}{Q_{П}} = \gamma$  є вихід збагаченого продукту (концентрату), а

так як вихідних величин усього дві, то  $\frac{Q_B}{Q_{П}} = 1 - \gamma$  вихід другого продукту (відходів).

Збагачувальні процеси мають суттєву частку випадкової складової, і величини  $Q_P$ ,  $Q_K$ ,  $Q_B$ , що накопичуються за тривалий проміжок часу. Теж відноситься і до величин  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$

Відповідно до законів математичної статистики, середні величини є не випадкові характеристики випадкових величин. Тому, природно, що необхідно користуватися усередненими показниками. Тепер усе питання зосереджується у тому, яким чином проводити осереднення показників.

На збагачувальному підприємстві, відповідно до технологічного регламенту, ведуться погодинні випробування. У результаті накопичуються показники. Припустимо, що по згаданих основних показниках складено три випадкових процеси і всі три процеси стаціонарні (табл. 14.1).

Таблиця 14.1. – Погодинні результати випробування

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha \cdot 10^{-2}$	30	31	28	34	30	38	30	40	42	30	30	35	32	30	30
$\beta \cdot 10^{-2}$	42	47	48	47	46	44	42	42	43	45	47	46	47	45	42
$\nu \cdot 10^{-2}$	16	18	16	15	13	12	12	12	13	17	16	15	12	13	15

Проведемо спочатку осереднення кожної величини за заданий проміжок часу, і далі будемо вести осереднення методом ковзного середнього. Тоді вихід продукту буде розрахований за осередненими даними:

$$\bar{\alpha}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \alpha_i; \quad \bar{\beta}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \beta_i; \quad \bar{\nu}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \nu_i; \quad \gamma_j = \frac{\bar{\alpha}_j - \bar{\nu}_j}{\bar{\beta}_j - \bar{\nu}_j}; \quad n = 1, 2, \dots$$

При малих значеннях  $n$  дисперсія виходу значна і виникають випадки, коли вихід більше одиниці. Потім, зі збільшенням  $n$ , дисперсія знижується, значення виходу стабілізується і при  $n \rightarrow \infty$  дисперсія наближається до 0, а вихід – до єдиного значення, що обчислюється на підставі параметрів:

$$\bar{\alpha} = \int_0^{\infty} \alpha \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha; \quad \bar{\beta} = \int_0^{\infty} \beta \cdot f(\beta) \cdot d\beta; \quad \bar{\nu} = \int_0^{\infty} \nu \cdot f(\nu) \cdot d\nu,$$

де  $f(\alpha)$ ,  $f(\beta)$ ,  $f(\nu)$  – диференціальні функції розподілу відповідних величин.

Таким чином, істинне значення виходу продукту можна одержати тільки за тривалий проміжок часу (кілька днів) за умови

таціонарності процесів:  $\bar{\alpha} = const$ ,  $\bar{\beta} = const$ ,  $\bar{v} = const$ . Розрахунок виходу за середніми значеннями дає величину  $\gamma = 0,645$ .

Якщо вести розрахунок виходу на підставі миттєвих значень показників:

$$\gamma_i = \frac{\alpha_i - v_i}{\beta_i - v_i},$$

і потім проводити осереднення виходу:

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \gamma_i$$

то значення виходу  $\gamma = 0,6$ . Така розбіжність отримана тому, що зв'язок між виходом і показниками якості є нелінійним. Звідси випливає, що у випадку нелінійної функції, обчислення за середнім значенням аргументів не дають середнього значення функції. Необхідно обчислювати миттєві значення функції, а потім уже робити усереднення.

Розглянемо процеси табл. 14.1 з позицій статистичної динаміки.

Випадковий процес цілком характеризується кореляційними функціями. Для одержання достовірної інформації необхідно дані для розрахунку приймати відповідно до часу еквівалентного запізнювання  $\tau_{\chi\psi}$ , що відповідає найбільшому абсолютному значенню взаємкореляційній функції. Так для процесів  $\alpha_{\Pi}$ ,  $\beta_K$ ,  $\tau_{\alpha\beta} = 5 \text{ год.}$ , а для  $\alpha_{\Pi}$ ,  $v_B$ ,  $\tau_{\alpha v} = 3 \text{ год.}$  З урахуванням цього вихід продукту обчислюється за співвідношенням:

$$\gamma_i = \frac{\alpha_i - v_{i+n_1}}{\beta_{i+n_2} - v_{i+n_1}}; \quad n_1 = \frac{\tau_{\alpha v}}{\Delta t}; \quad n_2 = \frac{\tau_{\alpha\beta}}{\Delta t}.$$

І, як видно, до розрахунку приймаються миттєві (погодинні) спостереження, що зміщені на період еквівалентного запізнювання стосовно значень вихідного продукту спостереженням якості концентрату і хвостів.

Оскільки для технології збагачення є закон, що зі збільшенням  $\alpha_{\Pi}$  збільшуються  $\beta_K$ , і  $v_B$ , то кореляція між  $\alpha_{\Pi}$ ,  $v_B$  і  $\alpha_{\Pi}$ ,  $\beta_K$  позитивна, що підтверджується і кореляційними функціями (рис. 14.18).

Початкові значення цих функцій негативні, що говорить про зворотну залежність між згаданими парами перемінних і, як наслідок, зменшенням виходу збагаченого продукту. Таким чином, поки кореляційні функції негативні і не досягли максимуму,  $\gamma_i$  завжди менше справжнього значення. З цього випливає, що розраховане шляхом осереднення, значення виходу завжди

менше істинного (дійсного) значення  $\gamma_{Di}$ :  $\gamma_{Di} > \gamma_i$ . Зі збільшенням часу осереднення розходження знижується і тільки при  $n \rightarrow \infty$ ,  $\gamma_{Di} - \gamma_i \rightarrow 0$ .

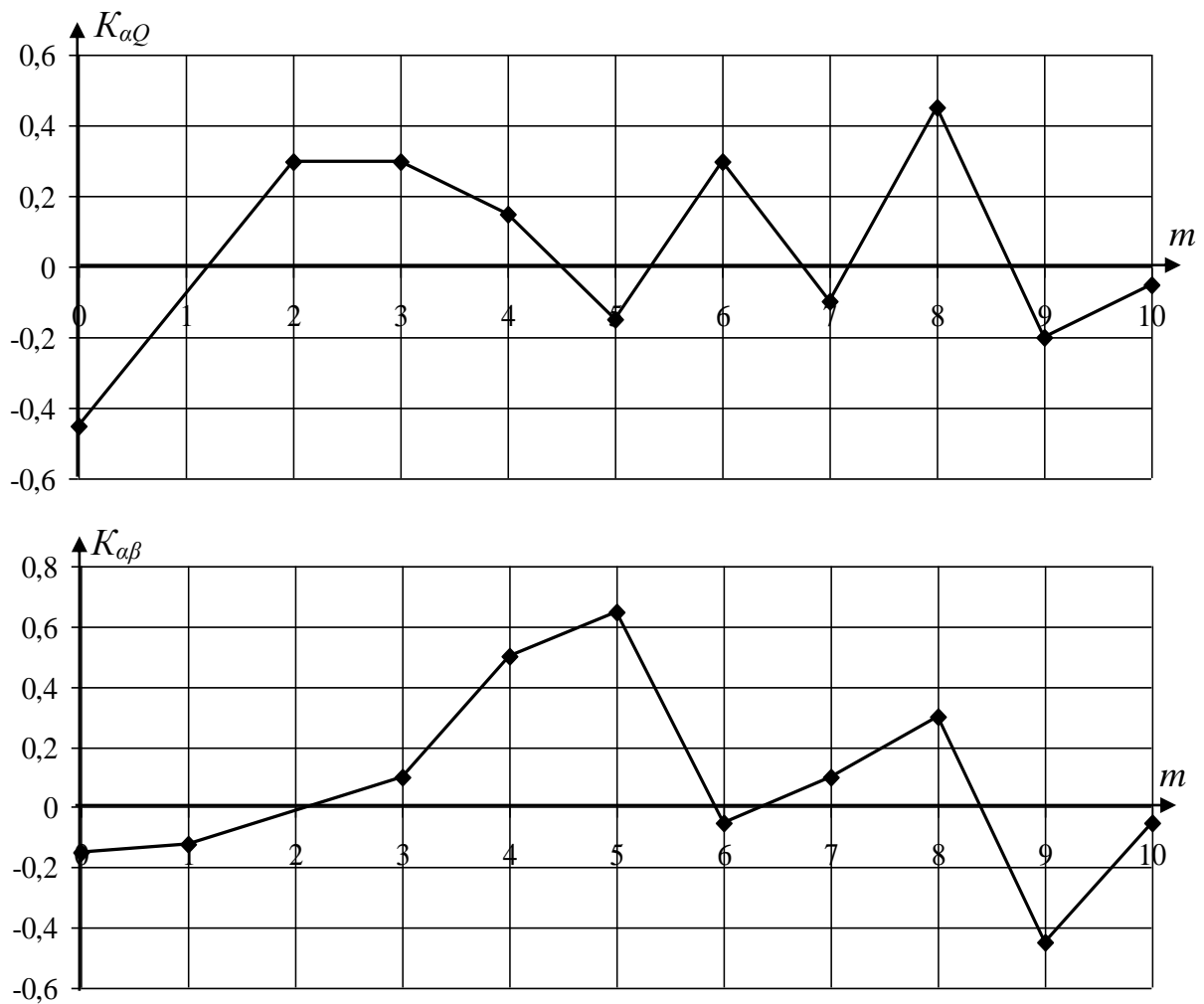


Рисунок 14.18. – Кореляційні функції

Так для даних табл. 14.1 обчислення виходу за усередненими показниками дає значення  $\gamma = 0,6$ . Коли зроблена вибірка результатів з урахуванням запізнювання, то значення виходу становить 0,62. Таким чином, справжнє значення виходу буде вище розрахованого за усередненими показниками.

Оскільки витримати умову стаціонарності протягом декількох днів ніколи не вдається, то завжди спостерігається умова  $\gamma_{Di} > \gamma_i$ .

У випадку нестационарних процесів, взаємкореляційна функція залежить від початку відліку і не характеризує весь процес, а тільки його частину і тому сталих значень параметрів технології немає, і виходить, що використовуючи усереднені показники не можна знайти справжнє значення виходу. Однак, процеси збагачення

не можна цілком віднести до нестационарних, тому що вони мають ділянки відносної стаціонарності, тому їх варто відносити до класу неергодичних.

Таким чином, невідповідність в оцінках виходу за результатами розрахунку технологічного балансу та вимірюваного товарного балансу призводить до появи неврахованої кількості продукту, тобто до неузгодженості.

Неузгодженість розраховується як різниця між вихідною кількістю і початковою:  $K = Q_{ВИХ} - Q_{П}$ , і виходить завжди негативною, що вказує на те, що кількість виробленого продукту завжди більше. Отже виходить, що методика визначення виходу збагаченого продукту повинна враховувати еквівалентні запізнювання між технологічними потоками.

З викладеного випливає, що неузгодженість формується на кожному етапі передачі сировини від виробника до споживача. Гірники контролюють якість сировини досить рідко. Збагачувачі роблять погодинні випробування, тобто дуже часто. Відвантаження контролюється у відповідності зі стандартом – 16 проб на пульманівський вагон, тобто найбільш ретельно. На підставі визначення середніх показників якості шляхом випробування і зважуючи потоки руди і концентрату можна найбільше точно визначити кількість цінного компонента, що залишив виробництво. Таким чином, джерелом появи неузгодженості є дані звітності кар'єру і збагачувального виробництва. Це тому що збагачувальна фабрика здійснює початковий і вихідний погодинний контроль, де головним джерелом неузгодженості є саме методика випробування. Цю методику можна характеризувати усередненим виходом  $\gamma$  і таким же, але виконаним з урахуванням еквівалентного запізнювання –  $\gamma_D$ . У результаті неузгодженість може бути оцінена як:

$$\Delta = K_{ВХ} \cdot (\gamma - \gamma_D),$$

де  $K_{ВХ} = \int_0^T Q(t)dt$  – об'єм сировини, що надійшла на збагачувальну фабрику,  $Q(t)$  – витрата сировини, що фіксується вхідним контролем.

Звичайно  $\gamma_D > \gamma$  і тому неузгодженість, позитивна.

Здоровий глузд і закон збереження маси підказують, що неузгодженість повинна бути негативною, тобто маса продукту на виході фабрики не може перевищувати масу продукту на вході фабрики. Однак, розрахунок за результатами випробування, дають, як

правило, неузгодженість одного знаку. Особливо це помітно при збагаченні руд з малим вмістом цінного компоненту. Виходить, що фабрика випускає цінного компоненту в більший кількості, ніж його міститься у початковому потоці.

### ***Контрольні питання***

- 1. Наведіть методику визначення вмісту твердого класичним способом.*
- 2. Назвіть основні параметри, що вимірюються, при визначенні витрат твердої сухої маси на конвеєрі.*
- 3. Наведіть методику визначення витрати бінарного потоку, що рухається по похилій площині.*
- 4. Напишіть основні рівняння взаємозв'язку при виміру об'ємних витрати пульпи і вмісту твердої фази в ній.*
- 5. Назвіть основні параметри, які необхідно контролювати, при визначенні витрати твердого в замкнутому циклі подрібнення.*
- 6. Яким чином виконується контроль масової витрати пульпи?*
- 7. Назвіть основний принципи випробування технології переробки сировини.*
- 8. Розрахуйте похибку показників контролю щільності пульпи ваговим щільноміром.*
- 9. Розрахуйте похибку показників контролю вмісту цінного мінералу за допомогою вагового щільноміра.*

## 15. ТОВАРНИЙ БАЛАНС

*Мета розділу: визначитися з правилами складання товарного балансу.*

Товарний баланс враховує вже вироблений продукт на складах, а технологію розглядає як статичний запас напівфабрикату. Він є звітом про надходження, переробку і відвантаження сировини і продуктів збагачення, що містять цінні компоненти. Призначення товарного балансу – контроль виробництва з метою усунення можливих втрат і визначення показників фабрики.

Показниками, що відображають рівень технології, досягнутий на фабриці, є маса, якість і товарне вилучення цінних компонентів.

Стосовно товарного балансу прийнято говорити про нев'язку, оскільки враховується продукт, що покинув межі підприємства.

Маса і якість продуктів визначається зважуванням і випробуванням з аналізом. Для того, щоб врахувати динамічні параметри підприємства використовують накопичені результати за контрольний період:

– маса продукту  $Q = \sum_i Q_i$ ;

– маса сухого продукту  $Q_c = \sum_i Q_i \cdot (1 - W_i)$ ;

– маса корисного компоненту  $K = \sum_i Q_i \cdot (1 - W_i) \cdot \beta_i$ .

Всі ці величини мають певну похибку.

Особливим показником товарного балансу є товарне вилучення:

$$\varepsilon_T = \frac{K_T}{K_{\Pi}},$$

де  $K_T$  – маса цінного компоненту, відвантаженого у вигляді концентрату;  $K_{\Pi}$  – маса цінного компоненту, витраченого на отримання цього концентрату.

Чим більше підприємство, тим складніше знайти величини  $K_T$  та  $K_{\Pi}$ . Так сировина розподіляється в згущувачах, ємностях, технологічних апаратах. Запаси можуть досягати декількох діб безперервної роботи підприємства. Тому:

$$K_{\Pi} = K_P + \sum_i \frac{K_{i\text{ПОЧ}} - K_{i\text{КИН}}}{\varepsilon_i},$$

де  $K_P$  – маса цінного компоненту, що поступив на фабрику за контрольний період;  $K_{iПоч}$ ,  $K_{iКін}$  – маса цінного компоненту, що знаходиться в ємностях підприємства на початок і кінець контрольного періоду, відповідно;  $\varepsilon_i$  – технологічне вилучення у відповідній ємності. Ця, остання величина визначається вельми приблизно.

**Неузгодженість.** Товарний баланс є рівністю суми всіх цінних компонентів, що вийшли за контрольний період, і що знаходяться в ємностях на кінець контрольного періоду, сумі цінних компонентів, що поступили за цей період, і того, що знаходиться в ємностях на початок контрольного періоду (рис. 15,1):

$$K_{Поч} + K_{ВХ} = K_{ВИХ} + K_{Кін}.$$

За контрольний період відбуваються такі події, коли збагачувальна фабрика працює за рахунок запасів бункерів не споживаючи руду з кар'єру, тоді на початок технології не надходить сировина. Відвантажується більше ніж споживається. Або ж збагачувальна фабрика і кар'єр працюють в нормальному режимі, а відвантаження концентрату не відбувається, тобто маємо нульове товарне вилучення. Споживається більше ніж може переробитися.

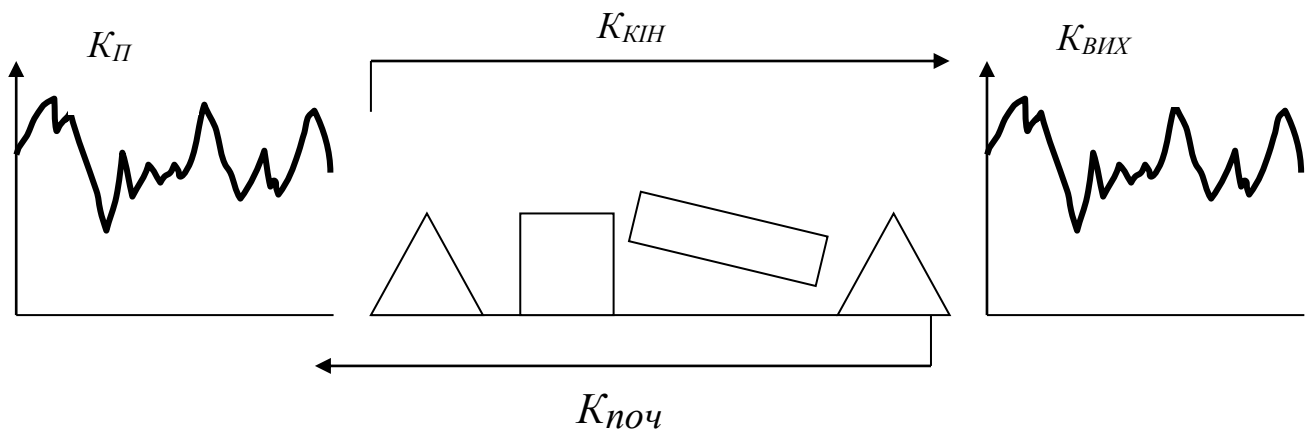


Рисунок 15.1. – Схема складання товарного балансу

Оскільки існують невраховані втрати і похибки визначення, то є неузгодженість:

$$\Delta = K_{Поч} + K_{ВХ} - K_{ВИХ} - K_{Кін},$$

яка за контрольний період ненульова. Якщо контрольний період збільшувати, то неузгодженість буде зменшуватися і далі наближатися до нуля. За звичай, контрольний період дорівнює одному місяцю. Це для таких залізородних гірничо-збагачувальних

комбінатів, як у Кривому Розі, невеликий відрізок часу, тому неузгодженість завжди ненульова.

На невеликих підприємствах неузгодженість буде незначною.

Крім того, в процесі сушки в повітря виноситься деяка частина корисної копалини, при транспортуванні, також відбуваються втрати.

Товарний баланс за рік розраховується на підставі місячних балансів, тому неузгодженість буде усередненою, а ненульовою. За значенням неузгодженості можна визначити існування неврахованих втрат.

Виконаємо розрахунок товарного балансу стосовно спрощеної схеми збагачувальної фабрики (рис.15.2).

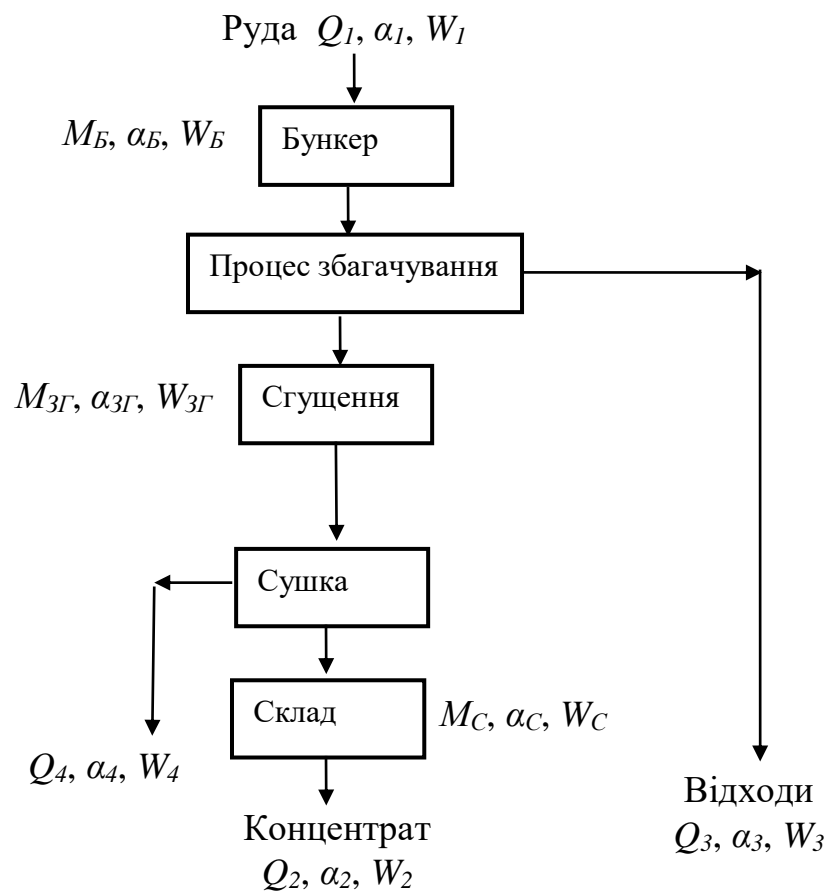


Рисунок 15.2 – Спрощена схема збагачувального процесу

Для вказаної схеми неузгодженість визначиться як:

$$\Delta = Q_2 \cdot (1 - W_2) \cdot \alpha_2 + Q_3 \cdot (1 - W_3) \cdot \alpha_3 + Q_4 \cdot (1 - W_4) \cdot \alpha_4 + [M_B \cdot (1 - W_B) \cdot \alpha_B + M_C \cdot (1 - W_C) \cdot \alpha_C + M_{3Г} \cdot (1 - W_{3Г}) \cdot \alpha_{3Г}]_{КИН} - Q_1 \cdot (1 - W_1) \cdot \alpha_1 - [M_B \cdot (1 - W_B) \cdot \alpha_B + M_C \cdot (1 - W_C) \cdot \alpha_C + M_{3Г} \cdot (1 - W_{3Г}) \cdot \alpha_{3Г}]_{ПОЧ}$$

де  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  – маса твердого, відповідно у руді, концентраті, відходах та димових газах;  $W_1, W_2, W_3, W_B, W_C, W_{3Г}$  – середні значення вологості, відповідно руди, концентрату, відходів, продукту в бункері, на складі, і в згущувачі;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_{3Г}$  – вміст цінного компоненту у відповідних продуктах;  $[M_B, M_C, M_{3Г}]_{Поч}$ ,  $[M_B, M_C, M_{3Г}]_{Кін}$  – маса матеріалу, відповідно в бункері, складі, згущувачі на початок і кінець контрольного періоду.

### 15.1. Отримання інформації для обчислення неузгодженості

Кількісне визначення витрат потоків збагачувального виробництва безпосередньо виміром неможливо, тому ці показники розраховують на підставі випробування потоків. Випробування виконується точковими пробами і тому окремо взяті значення є випадковим. Разом з тим, технологічний баланс повинен бути детермінованим. Тому за окремими випробуваннях скласти технологічний баланс неможливо. Необхідне деяке усереднювання, оскільки інтегральні характеристики є не випадкові. Об'єм вибірки для цих цілей підбирається наступним чином.

Будь-яка технологія переробки сировини не накопичує продукт в собі після того, як встановиться деяка рівновага. Тому умовою нормальної експлуатації збагачувальної технології є технологічний баланс:

$$Q_{П} = Q_{Вих},$$

тобто рівність витрат початкових ( $Q_{П}$ ) і вихідних ( $Q_{Вих}$ ) потоків. Величини, які можуть бути виміряні ваговим методом це початковий потік сировини  $Q_{П}$  і витрата концентрату  $Q_K$ . Витрата відходів збагачення  $Q_B$  розраховується на підставі випробування. За результатами випробування можна також розрахувати і витрату концентрату. Баланс продуктів існуватиме, якщо виміряні значення витрат і розраховані відрізнятимуться не більше ніж на допустиму похибку. Проте, за результатами технологічного випробування не вдається одержати такої рівності за короткі проміжки часу. Для цієї мети необхідно враховувати миттєві значення витрат, які відстоять один від одного на період еквівалентного запізнювання. Тоді достовірність результатів підвищується, і при цьому, природно, буде підвищений кореляційний зв'язок, а технологічний баланс повинен бути безперечним і тому розрахункові співвідношення також повинні бути зв'язані функціональними залежностями.

Методика, що задовольняє цій обов'язковій умові, розглянута раніше (див. 10,2).

*Приклад.* Розрахувати неузгодженість на підставі даних, одержаних при розрахунку технологічного балансу. З метою більшої наочності розрахунків приймемо результати роботи всіх змін однаковими. Необхідні для розрахунків дані вводитимемо в міру необхідності. Знаходимо складові товарного балансу за умови, що  $Q_1 = 1000 \text{ т/доб}$ ;  $\alpha_1 = 1,0\%$ ;  $W_1 = 7,0\%$ ;  $n_{зм} = 90$ .

*Розв'язання.*

Маса металу, що поступила на фабрику:

$$K_1 = n_{зм} \cdot Q_1 \cdot (1 - W_1) \cdot \alpha_1 = 90 \cdot 1000 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,01 = 836 \text{ т.}$$

Маса металу, що знаходиться в концентраті (за місяць відвантажено  $4800 \text{ т}$  концентрату з вологістю  $W_2 = 8\%$  з вмістом цінного компонента  $\beta = 15\%$ ) буде рівна:

$$K_2 = Q_2 \cdot (1 - W_2) \cdot \beta = 4800 \cdot (1 - 0,08) \cdot 0,15 = 662 \text{ т.}$$

Маса металу у відходах (за результатами вимірювання вихід відходів склав  $\gamma_B = 0,9508$  при вмісті металу  $\nu_B = 0,2\%$ ):

$$K_3 = n_{зм} \cdot Q_1 \cdot (1 - W_1) \cdot \gamma_B \cdot \nu_B = 90 \cdot 1000 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,9508 \cdot 0,002 = 162 \text{ т.}$$

Маса металу, що знаходиться у димових газах (кількість димових газів за зміну ( $Q_G$ )  $100000 \text{ м}^3$ , вміст твердого в димових газах ( $\delta_G$ )  $13 \cdot 10^{-6} \text{ т/м}^3$ , вміст металу у твердому ( $\alpha_G$ )  $10\%$ ):

$$K_4 = n_{зм} \cdot Q_G \cdot \alpha_G \cdot \delta_G = 90 \cdot 100000 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 = 11,7 \text{ т,}$$

У бункері фабрики на початок місяця було  $5000 \text{ т}$  руди з вологістю  $6\%$  з вмістом цінного компонента  $1,1\%$ ; в кінці місяця було  $4000 \text{ т}$  з вологістю  $8\%$ , з вмістом цінного компонента  $0,9\%$ . Маса металу в бункері на початок місяця склала:

$$K_{БПОЧ} = M_B \cdot (1 - W_B) \cdot \alpha_B = 5000 \cdot (1 - 0,06) \cdot 0,011 = 51,8 \text{ т.}$$

На кінець місяця:

$$K_{БКІН} = M_B \cdot (1 - W_B) \cdot \alpha_B = 4000 \cdot (1 - 0,08) \cdot 0,009 = 33,2 \text{ т.}$$

У згущувачі на початок місяця було  $130 \text{ т}$  металу, на кінець місяця –  $120 \text{ т}$ .

На складі на початок місяця знаходилося  $916 \text{ т}$  концентрату вологістю  $7\%$  з вмістом цінного компонента  $14\%$  і на кінець місяця було  $827 \text{ т}$  з вологістю  $8\%$  з вмістом  $15\%$ . Маса металу на складі:

– на початок місяця:

$$K_{СПОЧ} = M_C \cdot (1 - W_C) \cdot \alpha_C = 916 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,14 = 119,4 \text{ т,}$$

– на кінець місяця:

$$K_{СКІН} = M_C \cdot (1 - W_C) \cdot \alpha_C = 827 \cdot (1 - 0,08) \cdot 0,15 = 114,3 \text{ т.}$$

Неузгодженість балансу:

$$\Delta = K_2 + K_3 + K_4 + [K_B + K_C + K_{CG}]_{КИН} - K_1 - [K_B + K_C + K_{CG}]_{ЛОЧ} = 662 + 162 + 11,7 + [33,2 + 114,3 + 120] - 836 - [51,8 + 119,4 + 130] = -34 \text{ т.}$$

Така неузгодженість відповідає 4,06%. Порівняємо це значення з випадковою складовою похибки неузгодженості:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{K2}^2 + \sigma_{K3}^2 + \sigma_{K4}^2 + \sigma_{K1}^2 + \sigma_{KB}^2 + \sigma_{KC}^2 + \sigma_{K3Г}^2$$

Визначаємося з цими показниками.

$$\sigma_{\alpha}^2 = \sigma_{\alpha B}^2 = 0,001; \quad \sigma_{\beta}^2 = \sigma_{\beta C}^2 = \sigma_{\alpha 3Г}^2 = 0,005; \quad \sigma_{\nu}^2 = 0,0005;$$

$$\sigma_{\gamma\nu}^2 = \sigma_{\gamma\beta}^2 = 0,0074.$$

Похибки решти величин приймемо відповідно до табл. 15.1.

Таблиця 15.1 – Значення похибок вимірювання

Найменування	Значення	Похибка	Абсолютна похибка
Витрати руди, $Q_1$	90000, т	1 %	$\sigma_{Q1мес} = 90000/3/300 = 300 \text{ т}$
Вологість руди, $W_1$	0,07	0,004	$\sigma_{W1мес} = 0,004/(2\sqrt{30}) = 0,00036$
Вміст металу, $\alpha$	0,01	$\sigma_{\alphaсут} = 0,001, 2\%$	$\sigma_{\alphaмес} = 0,00018,$
Витрата концентрату, $Q_2$	4800, т	0,005	$\sigma_{Q2мес} = 32 \text{ т}$
Вміст металу в концентраті, $\beta$	0,15	$\sigma_{\betaсут} = 0,005, 2\%$	$\sigma_{\betaмес} = 0,0009$
Вологість концентрату, $W_2$	0,08	0,004	$\sigma_{W2мес} = 0,00036$
Вихід відходів, $\gamma_{\nu 2}$	0,9668	$\sigma_{\nuсут} = 0,0074$	$\sigma_{\nuмес} = 0,001351$
Вміст металу у відходах, $\nu$	0,002	$\sigma_{\nuсут} = 0,0005$	$\sigma_{\nuмес} = 0,00009$
Маса руди у бункері, $M_B$	5000, 4000 т	10%	$\sigma_{Mбн} = 250 \text{ т}$ $\sigma_{Mбк} = 200 \text{ т}$
Маса концентрату на складі, $M_C$	916,827 т	10%	$\sigma_{Mскн} = 916 \cdot 10/2/100 = 45,8 \text{ т}$ $\sigma_{Mскк} = 41,3 \text{ т}$
Маса металу у згущувачу, $M_{3Г}$	130, 120 т	8%	$\sigma_{Mсгн} = 5,2 \text{ т}$ $\sigma_{Mсгк} = 4,8 \text{ т}$

\* Скрізь, де немає розмірності слід вважати – долі одиниць

Насиупний розрахунок виконуємо відповідно до методики, яка наведена раніше (див. 10.2).

$$\sigma_{K1}^2 = [(1 - 0,07) \cdot 0,01]^2 \cdot 300^2 + [90000 \cdot (1 - 0,07)]^2 \cdot 0,00018^2 = 234,86 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{K2}^2 = [(1 - 0,08) \cdot 0,15]^2 \cdot 32^2 + [4800 \cdot 0,15]^2 \cdot 0,00036^2 + [4800 \cdot (1 - 0,08)]^2 \cdot 0,0009^2 = 35,37 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{K3}^2 = [(1 - 0,07) \cdot 0,98 \cdot 0,002]^2 \cdot 300^2 + [90000 \cdot 0,98 \cdot 0,002]^2 \cdot 0,00036^2 + [90000 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,002]^2 \cdot 0,00135^2 = 53,38 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned} \sigma_{K4}^2 &= [13 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1]^2 \cdot 75000^2 + [9 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 6,5 \cdot 10^{-7}]^2 + \\ &\quad + [9 \cdot 10^6 \cdot 13 \cdot 10^{-7} \cdot 0,00018]^2 = 0,3484 \text{ m}^2; \\ \sigma_{KBПOЧ}^2 &= [(1 - 0,06) \cdot 0,011]^2 \cdot 250^2 + [5000 \cdot 0,011 \cdot 0,002]^2 + \\ &\quad + [5000 \cdot (1 - 0,06) \cdot 0,001]^2 = 28,712 \text{ m}^2; \\ \sigma_{KBKIH}^2 &= [(1 - 0,08) \cdot 0,009]^2 \cdot 200^2 + [4000 \cdot 0,009 \cdot 0,002]^2 + \\ &\quad + [4000 \cdot (1 - 0,08) \cdot 0,001]^2 = 16,345 \text{ m}^2; \\ \sigma_{КСПOЧ}^2 &= [(1 - 0,07) \cdot 0,014]^2 \cdot 45,8^2 + [916 \cdot 0,14 \cdot 0,002]^2 + \\ &\quad + [916 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,005]^2 = 53,66 \text{ m}^2; \\ \sigma_{КСКИH}^2 &= [(1 - 0,08) \cdot 0,15]^2 \cdot 41,35^2 + [827 \cdot 0,15 \cdot 0,002]^2 + \\ &\quad + [827 \cdot (1 - 0,08) \cdot 0,005]^2 = 47,062 \text{ m}^2; \\ \sigma_{КЗГПOЧ}^2 &= 5,2^2 = 27,1 \text{ m}^2; \quad \sigma_{КЗГКИH}^2 = 4,8^2 = 23,04 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Отже:  $\sigma_{\Delta}^2 = 234,86 + 35,37 + 53,38 + 0,3484 + (28,712 + 16,345) +$   
 $+ (53,66 + 47,062) + (27,1 + 23,04) = 519,334 \text{ m}^2.$

Випадкова складова похибки неузгодженості дорівнює  $\sigma_{\Delta} = 22,8 \text{ m}.$

### **Контрольні питання**

1. До якого типу похибок відноситься неузгодженість?
2. Що означає випадок, коли неузгодженість має нульове математичне сподівання?

**ДОДАТОК А Початкові дані**

Таблиця А.1 – Результати погодинного випробування

<i>N</i>	$\alpha \cdot 10^{-1}$	$\beta \cdot 10^{-1}$	$\nu \cdot 10^{-1}$	<i>N</i>	$\alpha \cdot 10^{-1}$	$\beta \cdot 10^{-1}$	$\nu \cdot 10^{-1}$
	1	2	3		1	2	3
1	2,85	5,275	0,475	21	4,75	5,475	0,875
2	3,35	5,475	0,65	22	4,25	5,65	1,037
3	4,2	5,6	0,875	23	3,55	5,85	1,262
4	4,05	5,85	0,962	24	3,2	6,075	1,525
5	4,5	6	1,15	25	3	6,275	1,65
6	3,95	6,175	1,2	26	2,4	6,375	1,7
7	3,6	6,375	1,2	27	2,2	6,375	1,75
8	3,54	6,312	1,25	28	2,35	6,275	1,575
9	3,2	6,35	1,175	29	2,3	6,125	1,375
10	2,9	6,2	0,12	30	2,8	6,025	1,15
11	2,75	6,075	1,25	31	3,05	5,937	0,825
12	2,65	5,975	1,1	32	3,75	5,775	0,625
13	2,5	5,925	1,05	33	3,05	5,625	0,675
14	2,5	5,75	0,95	34	2,65	5,425	0,6
15	2,25	5,75	0,937	35	2,9	5,4	0,65
16	3,1	5,625	0,837	36	2,6	5,35	0,562
17	3,8	5,5	0,762	37	3,3	5,45	0,525
18	3,75	5,4	0,675	38	3,65	5,6	0,737
19	4,6	5,325	0,65	39	4,35	5,875	1,1
20	4,4	5,45	0,775	40	4,3	5,975	1,275

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДЦ», 2016. – 45 с.
2. Ляшуга І. Ю. Становлення системи національної метрологічної служби України // Наукові праці історичного факультету Запорізького національного університету. – 2017. – Вип. 47. – С. 336-340.
3. Младецький І.К. Аналітичне визначення показників розкриття руд / І.К. Младецький, Ю.С. Мостика. – Дніпропетровськ: Системні технології, 1999. – 106 с.
4. Младецький І.К., Пілов П.І. Технологічні розрахунки показників збагачення корисних копалин. Навч. посібник. – Д.: НГУ, 2005. – 156с.
5. Младецький І.К. Синтез технологій збагачення корисних копалин: монографія / І.К. Младецький. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – 153 с.
6. Методи математичної статистики та теорії ймовірностей в збагаченні корисних копалин. Навч. посібник. / П.І. Пілов, М.Т. Анісімов, В.М. Анісімов./ – Д.: НГУ, 2012. – 125с.
7. Випробування і контроль процесів збагачення корисних копалин: Навч. посібник / Младецький І.К., Пілов П.І., Левченко К.А., Куваєв Я.Г. // НТУ "Дніпровська політехніка". – Дніпро: Журфонд, 2019. – 204с.
8. Младецький І.К. Визначення необхідної точності вимірів показників технологічних процесів на ВДГМК / І.К. Младецький, А.А. Лисенко, П.І. Пілов // Збагачення корисних копалин.: наук.-техн. зб– 2013. – Вип. 54(95). – С. 167-175.
9. Младецький І.К. Визначення необхідної крупності подрібнення руди / І.К. Младецький, А.А. Павленко // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб – 2008. – Вип. 35(76). – С. 53–57.
10. Ахметшина І.В. Формування сепараційних характеристик розділових блоків / І.В. Ахметшина, І.К. Младецький, Ю.С. Мостика, В.Ю. Шутов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70)–30(71). – С. 20–25.
11. Младецький І.К., Пілов П.І. Визначення відповідності сепараційної характеристики розділового апарату та параметрів

підготовленої сировини // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70)–30(71). – С. 25–30.

12. Бондаренко В.І., Медяник В.Ю., Руденко К.М., Ковалевська І.А. (2020). Вугільна шахта: підручник для вузів. Дніпро: ТОВ «ЛізуновПрес», 360 с.

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

МЛАДЕЦЬКИЙ ІГОР КОСТЯНТИНОВИЧ – д-р техн. наук, професор, Відмінник освіти України, приймав неодноразово участь у роботі експертної ради Державної акредитаційної комісії України, експерт Вищої атестаційної комісії України, був членом спеціалізованої вченої ради Д. 08.080.05 зі спеціальності 05.15.08 “Збагачення корисних копалин” із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня, член редколегії науково-технічного збірника “Збагачення корисних копалин”. Автор понад 250 наукових праць опублікованих в Україні та за кордоном, у т. ч. 10 монографій, 5 навчальних посібників, 20 винаходів і патентів.

**ПІЛОВ ПЕТРО ІВАНОВИЧ** – д-р техн. наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, був головою спеціалізованої вченої ради Д. 08.080.02 зі спеціальності 05.15.08 “Збагачення корисних копалин” із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня, головним редактором науково-технічного збірника “Збагачення корисних копалин”, заступником головного редактора “Наукового вісника Національного гірничого університету”. Автор понад 400 наукових праць опублікованих в Україні та за кордоном, у т. ч. 10 монографій, 15 навчальних посібників та 60 винаходів і патентів. Під його керівництвом підготовлено і захищено 5 докторських і 20 кандидатських дисертацій.

ЛЕВЧЕНКО КОСТЯНТИН АНАТОЛІЙОВИЧ – канд. техн. наук, доцент, має Почесну відзнаку Міністерства вугільної промисловості України “Шахтарська слава” 3 ступеня, автор 70 наукових праць опублікованих в Україні та за кордоном, у т. ч. 1 навчальний посібник.

ДРЕШПАК ОЛЕКСАНДР СТАНІСЛАВОВИЧ – канд. техн. наук, доцент, директор науково-дослідної установи “Центр переробки та збагачення мінеральної та техногенної сировини” Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”, автор 20 наукових праць, опублікованих в Україні та за кордоном.

БЕРЕЗНЯК ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ – канд. техн. наук, доцент, автор 100 наукових праць, опублікованих в Україні та за кордоном, у т. ч. 3 монографій, 5 винаходів та патентів.

МЕДЯНИК ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ – канд. техн. наук, доцент, автор 150 наукових праць, опублікованих в Україні та за кордоном, у т. ч. 3 монографій, 5 навчальних посібників, 10 патентів на винаходи і корисні моделі, має галузеві та державні нагороди.

## ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

**Младецький Ігор Костянтинович**

**Пілов Петро Іванович**

**Левченко Костянтин Анатолійович**

**Дрешпак Олександр Станіславович**

**Березняк Олександр Олександрович**

**Медяник Володимир Юрійович**

## **КВАЛІМЕТРІЯ**

Навчальний посібник

Редактор Л.О. Чуїщева

Підписано до друку 05.1.2023. Формат 30×42/4

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,6.

Обл. вид. арк. 8,6. Тираж 100 прим. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від  
11.06.2004

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.