

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

Лазарєв Микола Іванович
Шматков Даніїл Ігорович

**НЕРУЙНУЮЧИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
У СХЕМАХ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді
та спорту України (лист №1/11-4014 від 26.03.12 р.)

Харків 2012 р.

УДК 620.179 (075.8)
ББК 30.102я73

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту
України (лист №1/11-4014 від 26.03.12 р.)

Автори: Лазарєв М. І., Шматков Д. І.

Неруйнуючий контроль технічних об'єктів у схемах : навчальний
посібник для студентів вищих навчальних закладів / Лазарєв М. І.,
Шматков Д. І. – Харків : УІПА, 2012. – 162 с.

Рецензенти:

д. т. н., доц., проф. кафедри «Хімічної техніки та промислової екології»
Себко В. В. (Національний технічний університет «Харківський політех-
нічний інститут»)

д. пед. н., проф. кафедри «Загальної педагогіки» Золотухіна С. Т.
(Харківський національний педагогічний університет ім. Г. С. Сковороди)

к. т. н., доц. кафедри «Трактори і автомобілі» Артьомов М. П.
(Харківський національний технічний університет сільського gospodar-
ства ім. Петра Василенка)

Висвітлюються питання використання в промисловості основних видів
неруйнівного контролю: магнітного, електричного, вихрострумовеого, ра-
діохвильового, теплового, оптичного, радіаційного, акустичного та кон-
тролю проникаючими речовинами.

У вигляді схем та рисунків наводяться відомості про кожний метод,
використовуючи послідовність «фізичні основи – сфери застосування –
засоби контролю – методика використання». Кожна з цих послідовнос-
тей супроводжується стислими поясненнями, графічними зображення-
ми, які пояснюють суть кожного з них. Наприкінці тем, присвячених ви-
дам контролю, наведені причинно-наслідкові зв'язки, які супроводжують
процес пояснення і надають можливість узагальнити одержані знання.

ISBN

© Лазарєв М. І., 2012

© Шматков Д. І., 2012

© УІПА, 2012

Зміст

| | |
|---|-----|
| Користування каузальними мережами | 4 |
| Цільова настанова | 6 |
| Вступ..... | 7 |
| Магнітний контроль | 20 |
| Електричний контроль..... | 35 |
| Вихрострумний контроль..... | 48 |
| Радіохвильовий контроль..... | 62 |
| Тепловий контроль..... | 78 |
| Оптичний контроль..... | 94 |
| Радіаційний контроль..... | 110 |
| Акустичний контроль..... | 127 |
| Контроль проникаючими речовинами | 142 |
| Загальні питання для самоконтролю | 157 |
| Висновки | 158 |
| Предметний покажчик | 159 |




До кожного розділу (окрім „Вступу”) додаються каузальні мережі (КМ), в яких всі відношення між вершинами трактуються як відношення "причина-наслідок”.

„Автоматизація контролю та неруйнуючий контроль” – дуже інформативна дисципліна, у якій поєднано широке коло фундаментальних наук. Використання КМ зумовлено тим, що принцип роботи людського мозку полягає у постійній побудові зв'язків між інформативними одиницями. Готові зв'язки у вигляді КМ значно спрощують процес оволодіння студентами новими знаннями, що набуває особливого значення при вивченні неруйнівного контролю.

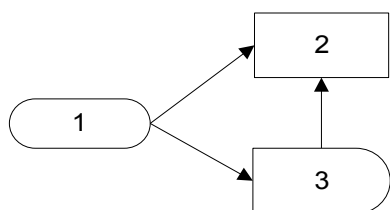
За допомогою КМ розглядаються конкретні методи відповідного виду контролю.

Загалом відомо більше двохсот методів неруйнівного контролю, тому для аналізу обрані такі, що найчастіше застосовуються або не потребують для реалізації надзвичайно коштовного та специфічного обладнання.

Методи в КМ розділяються на три блоки: фізичні основи; методика використання; схема пристрою. Ці блоки не є вичерпними та не мають потребу у внутрішній ієрархізації. Основною метою є висвітлення головних моментів, які відображають специфіку кожного методу.

Кожний блок розташовується під певним кутом, розташування змінюється в різних методах, проте завжди зберігаються фігури, в яких розміщені елементи блоків. Так, інформативні елементи блоку „фізичні основи” виділяються фігурою , „схема пристрою” – , „методика використання” – .

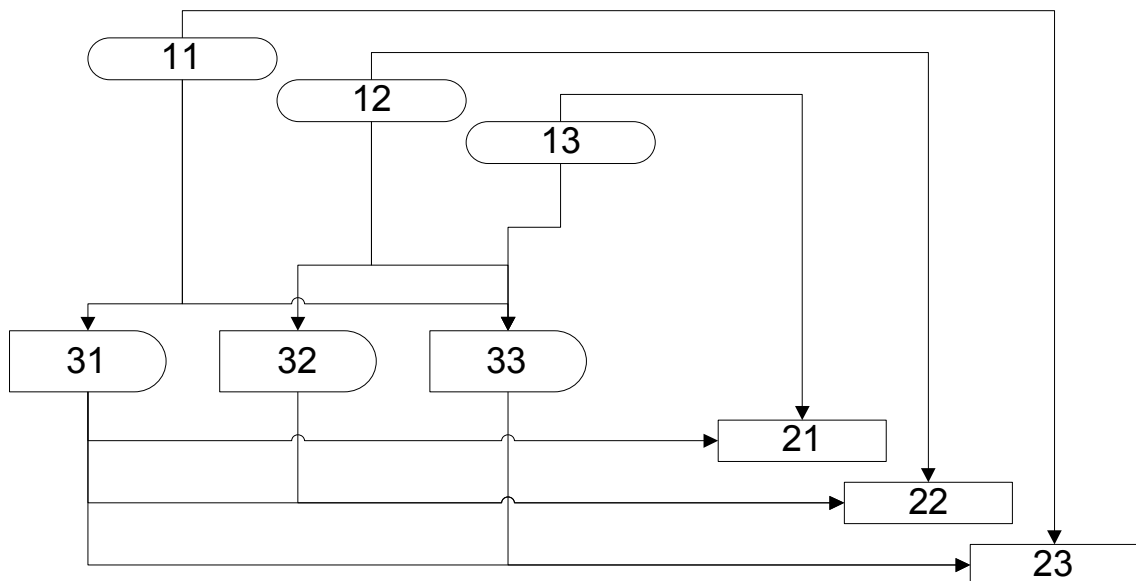
Причинно-наслідкові зв'язки розроблені за чітким алгоритмом, який дотримується у кожній КМ: фізичні основи визначають побудову пристрою та методику використання; схема пристрою визначає методику використання:



таким чином, якщо фігура торкається початку стрілки, то вона є причиною, якщо кінця – наслідком. 1 – причина 2 та 3; 2 – наслідок 1 та 3; 3 – наслідок 1 та причина 2.

Користування каузальними мережами

Зв'язки між інформативними елементами мають певні правила, які спрямовані на спрощення користування. По-перше, зв'язки від кожного інформативного елемента лежать на одному рівні. По-друге, якщо на перетині двох стрілок присутня дужка, то зв'язок йде у попередньому напрямку, якщо її немає – зв'язок йде у двох напрямках.



Робота з мережею: а) визначаємо в залежності від мети блок-причину чи блок-наслідок; б) знаходимо необхідний інформативний елемент; в) визначаємо рівень зв'язків необхідного інформативного елемента з іншими елементами (рівень завжди є трохи вищим або трохи нижчим за рівень сусіднього елемента); г) візуально чи за допомогою лінійки просуваємось по рівнях та знаходимо перетини, які відображають необхідні зв'язки (окрім перетинів з дужкою).

Як можемо побачити з представленої мережі, 11 визначає 23, 31 та 33; 12 визначає 22, 32 та 33; 13 визначає 21 та 33; 31 визначає 21, 22, 23; 32 визначає 22; 33 визначає 23.

До мереж додаються питання, у розв'язанні яких вони допомагають, але повністю не відповідають на ці питання. Для відповіді необхідно проаналізувати КМ, а у деяких випадках і додаткову (рекомендовану) літературу.

Навчальний посібник спрямовується на ...

...формування знань...

...формування вмінь...

...фізичних явищ, які лежать в основі використання основних видів та методів контролю

...класифікації методів неруйнівного контролю за різними параметрами

...специфіки контролю в залежності від завдань, що стоять перед ним, матеріалу і особливостей конструкції об'єкту контролю (далі – ОК)

...основних вимог, які пред'являються до неруйнівних видів і методів контролю

...типових автоматизованих засобів контролю

...особливостей проведення найпоширеніших методів неруйнівного контролю

...пояснювати роль і місце неруйнівного контролю в системі контролю якості продукції

...характеризувати фізичні основи, на яких базується кожний з видів і методів контролю

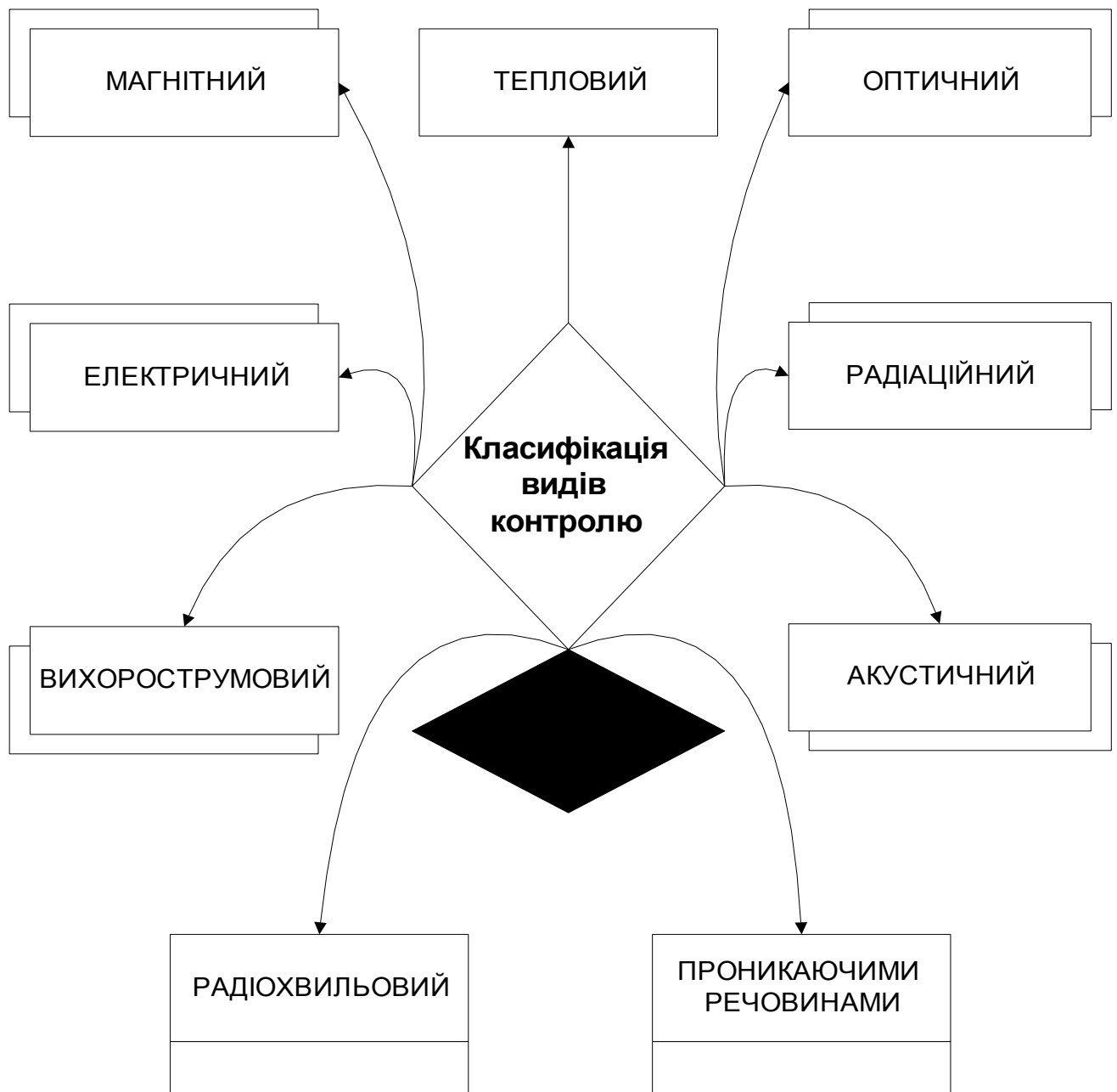
...порівнювати види неруйнівного контролю і виявляти їх особливості та ефективність використання

...обирати певні види і методи контролю в залежності від завдань контролю

...визначати структуру і склад приладів, що використовуються при неруйнівному контролі

...раціонально використовувати особливості будови і принципи роботи автоматизованих засобів контролю

Неруйнівний контроль (NDT) - контроль, при якому не повинна бути порушена придатність технічних пристроїв, будівель і споруд до застосування та експлуатації



Загальні терміни

Система неруйнівного контролю (NDT system) – сукупність учасників, які в рамках регламентних норм, правил, методик, умов, критеріїв та процедур здійснюють діяльність у галузі одного з видів експертизи промислової безпеки, пов'язаної із застосуванням НК

Результат неруйнівного контролю (Outcome of NDT) – встановлена оцінка відповідності об'єкта контролю (далі – ОК) технічним вимогам, які йому пред'являються, що розуміється як результат зіставлення остаточної інформації про об'єкт контролю з вимогами нормативних технічних документів

Об'єкт неруйнівного контролю (Object of NDT) – технічний пристрій, будівля або споруда, що піддається неруйнівному контролю

Обсяг неруйнівного контролю (Amount of NDT) – характеристика неруйнівного контролю, що визначається кількістю (у тому числі і в розмірних одиницях: довжиною, площею, об'ємом) об'єктів і застосовуваних видів (методів) контролю

Вид неруйнівного контролю (Kind of NDT) – умовне групування методів неруйнівного контролю, об'єднане спільністю фізичних характеристик

Метод неруйнівного контролю (NDT method) – метод контролю, при якому не повинна бути порушена придатність об'єкта до застосування, заснований на тому чи іншому фізичному явищі

Виробничий неруйнівний контроль (NDT during manufacturing) – контроль, який здійснюється на стадії виготовлення об'єкта

Експлуатаційний неруйнівний контроль (In service NDT) – контроль, який здійснюється на стадії експлуатації об'єкта

Загальні терміни

Вхідний неруйнівний контроль (NDT on an input) – контроль об'єкту, що надійшов споживач еві або замовнику

Операційний неруйнівний контроль (NDT on operations) – контроль об'єкту під час виконання або після завершення технологічної операції

Приймальний неруйнівний контроль (Acceptance NDT) – контроль об'єкту, за результатами якого приймається рішення про його придатність до постачання і (або) використання

Суцільний неруйнівний контроль (Full volume NDT) – контроль кожної одиниці продукції в партії

Вибірковий неруйнівний контроль (Selective NDT) – контроль, при якому рішення про контрольовану сукупність об'єктів приймають за результатами перевірки однієї або декількох вибірок

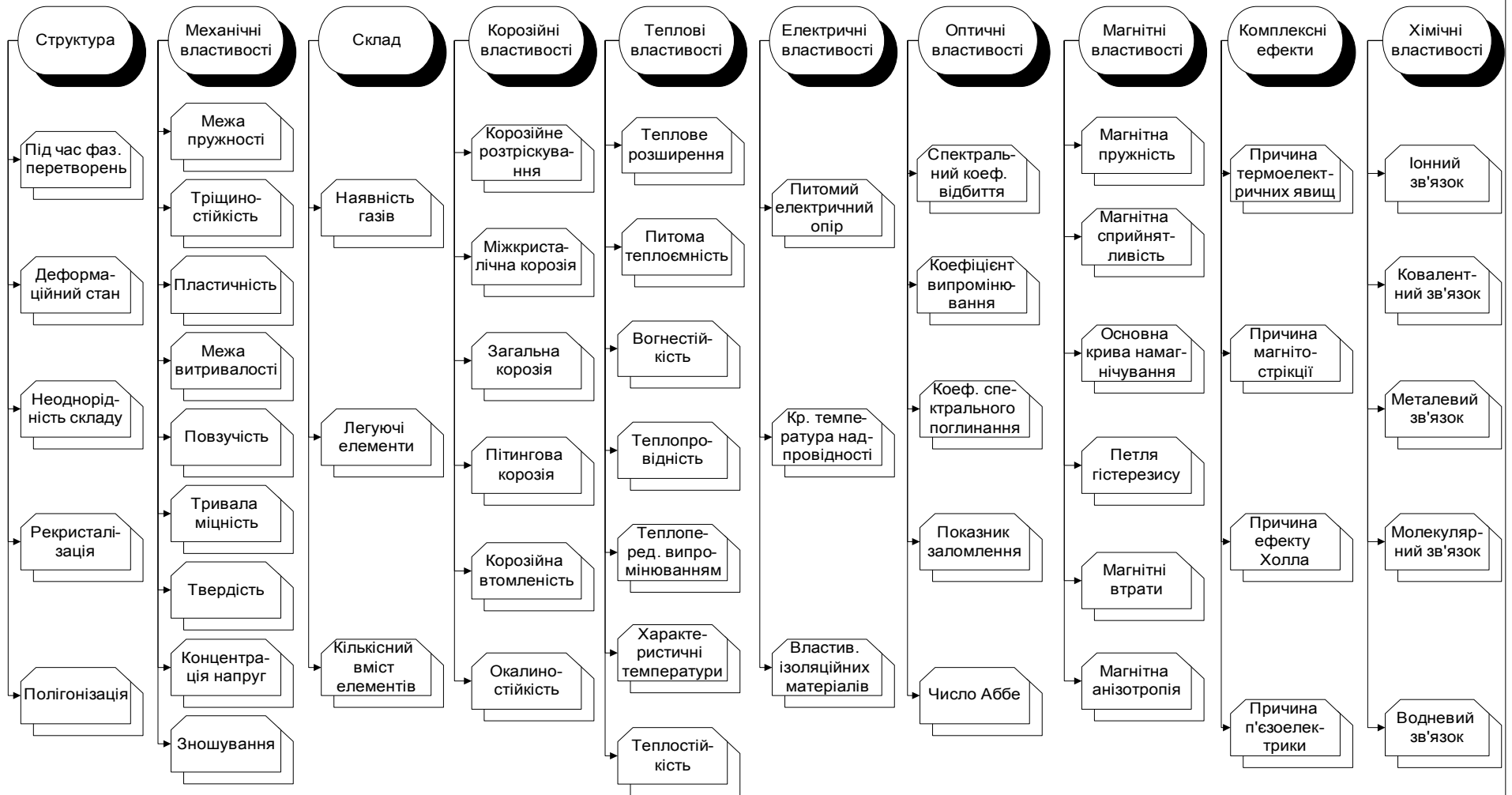
Методичний документ з неруйнівного контролю (Test procedure) – організаційно-методичний документ, що включає об'єкти контролю, вид контролю, метод контролю, можливості та умови контролю, алгоритми виконання операцій з визначення однієї або декількох взаємозв'язаних характеристик властивостей об'єкта, форми представлення даних та оцінювання точності, достовірності результатів, вимог техніки безпеки та охорони навколишнього середовища

Основні параметри неруйнівного контролю (Main parameters of NDT) – сукупність параметрів неруйнівного контролю, що забезпечують виконання встановлених нормативною технічною документацією вимог з виявлення дефектів, вимірювання параметрів дефектів і оцінки впливу дефектів на об'єкт

Засіб неруйнівного контролю (Equipment of NDT) – технічний пристрій, речовина, матеріал, програмний продукт, що використовуються для отримання і обробки інформації про об'єкт для проведення НК

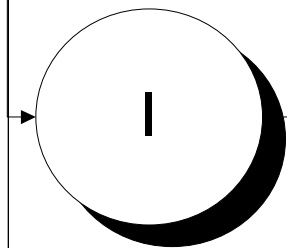
Фахівець у галузі неруйнівного контролю (NDT employee) – спеціаліст (співробітник), допущений до виконання неруйнівного контролю технічних пристроїв, будівель, споруд та на небезпечних виробничих об'єктах

Класифікаційні характеристики матеріалів

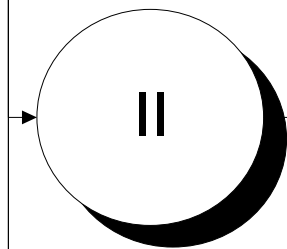


Параметри та дефекти , що контролюються

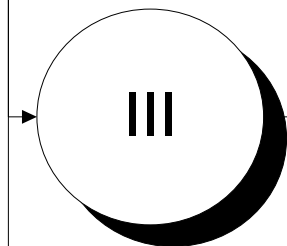
Групи



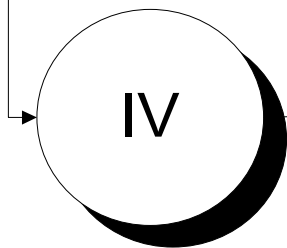
Дефекти типу порушення суцільності :
раковини, тріщини, розшарування, пори та ін



Відхилення розмірів - довжини, ширини,
висоти, діаметра, товщини стінки, а також
товщини покриття і глибини поверхневого шару
(загартованого, безвуглецевого) і т.д.



Питома електрична провідність , магнітна
проникність, коерцитивна сила, залишкова
індукція, твердість, вологість, напруга,
структура, хімічний склад, межа міцності,
границя плинності, відносне подовження та ін .



Емісія хвиль напруги , розвиток у часі тріщин ,
збільшення напружень , утонення стінки ,
збільшення зазору і т.д.

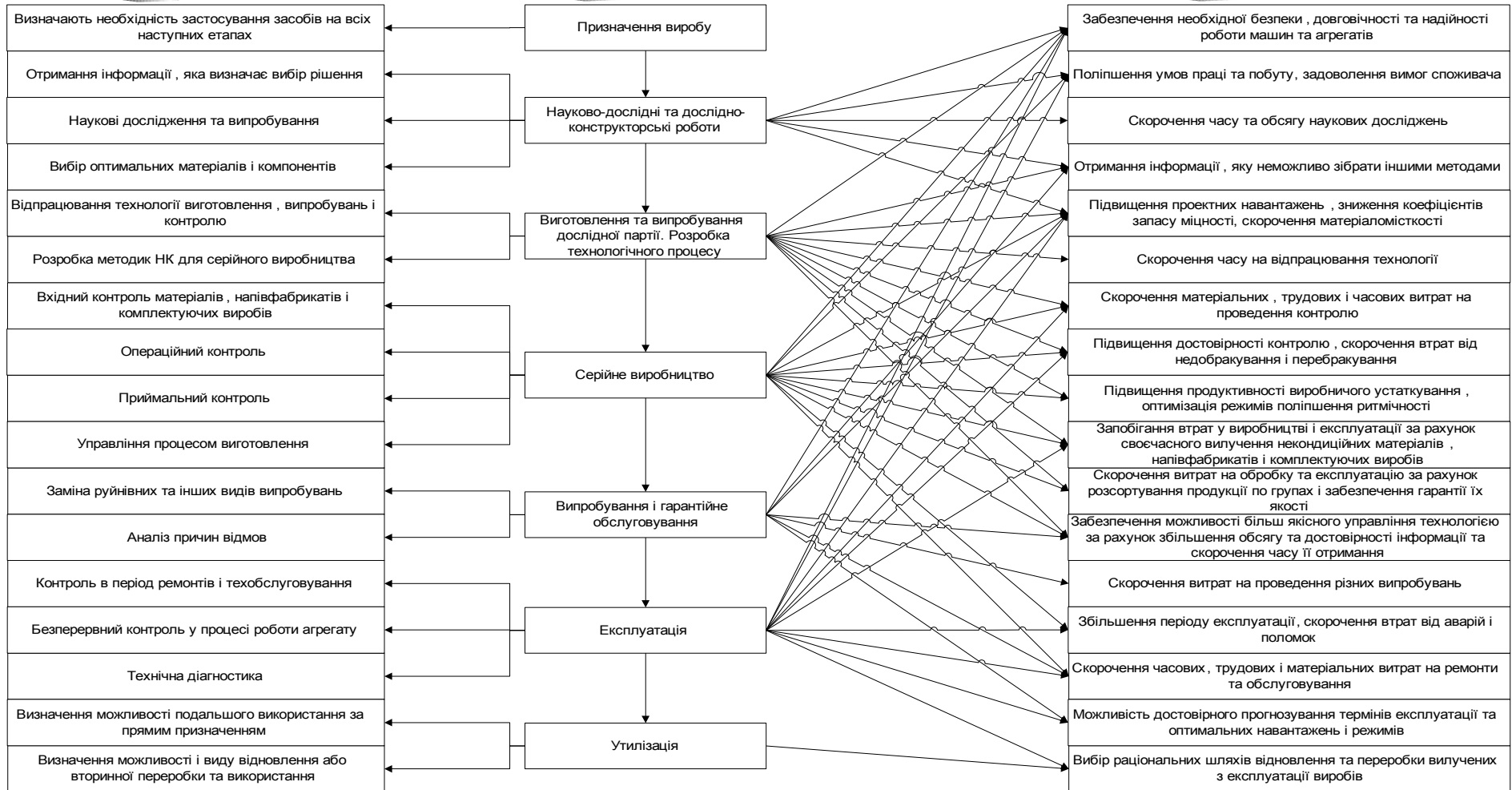


Функції засобів НК

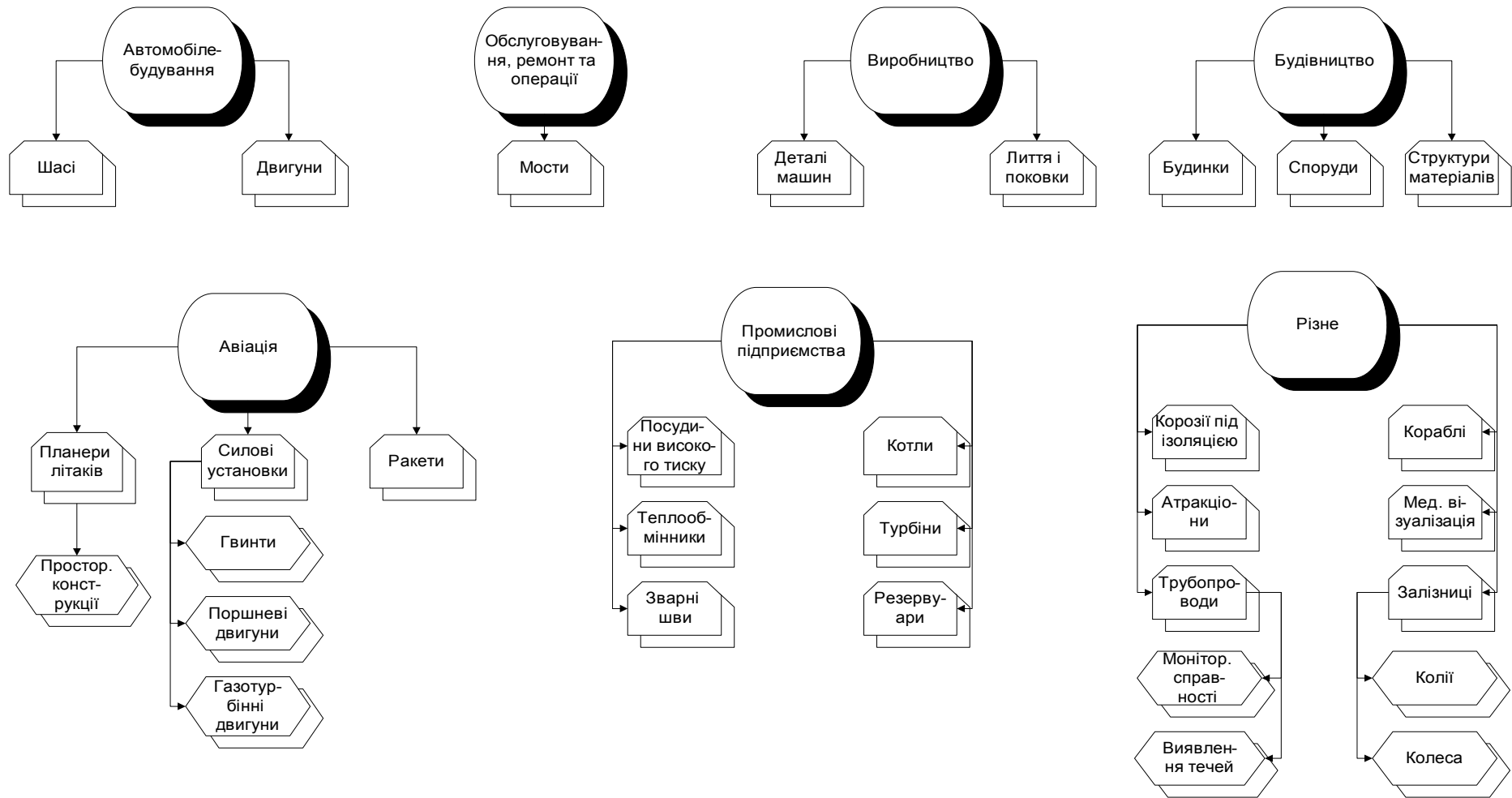
Функції

Етапи циклу

Фактори ефективності



Сфери використання НК (приклади)



Вимоги до НК

простота методик контролю , технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту і експлуатації

можливість механізації і автоматизації контролю технологічних процесів , а також управління ними з використанням сигналів , які видаються засобами контролю

висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах

узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання

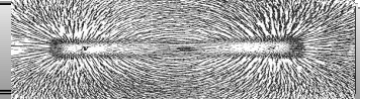
можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення , при експлуатації і при ремонті виробів

можливість контролю якості продукції за більшістю заданих параметрів

висока достовірність результатів контролю

Література до розділу

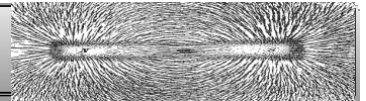
1. Білокур І. П. Основи дефектоскопії : Підручник. – К.: „Азимут-Україна”, 2004. – 496 с.
2. Измерения, контроль, испытания и диагностика . Т. III-7 / В. В. Ключев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. ; Под общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1996. – 464 с.
3. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля : учеб. пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
4. Контроль неразрушающий . Классификация видов и методов .: ГОСТ 18353-79. – М., 1987. – 12 с.
5. Контроль неруйнівний . Терміни та визначення .: ДСТУ 2865-94. – К., 1994. – 55 с.
6. Неразрушающий контроль и диагностика : Справочник / В. В. Ключев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др. ; под ред. В. В. Ключева. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
7. Неруйнівний контроль . Кваліфікація і сертифікація персоналу з неруйнівного контролю . Основні вимоги .: ДСТУ EN 473-2001. – К., 2001. – 21 с.
8. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий . Справочник . В 2-х кн. Под ред. В. В. Ключева. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
9. Система неразрушающего контроля . Виды (методы) и технология неразрушающего контроля . Термины и определения : Справочное пособие . Серия 28. Выпуск 4 / Колл.авт. - М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России », 2003. – 392 с.
10. Справочник инженера по контрольно - измерительным приборам и автоматике. Под. ред. А. В. Калиниченко . – М.: «Инфра-Инженерия», 2008. – 576 с.



Магнітний неруйнівний контроль (Magnetic nondestructive testing) – неруйнівний контроль, заснований на реєстрації неоднорідних магнітних полів, що виникають над дефектами, або на визначенні магнітних властивостей матеріалу об'єкта контролю

! Найчастіше контролюються вироби з феромагнітних матеріалів, тобто матеріалів, які можуть змінювати свої магнітні характеристики під впливом зовнішнього магнітного поля





Фізичні основи

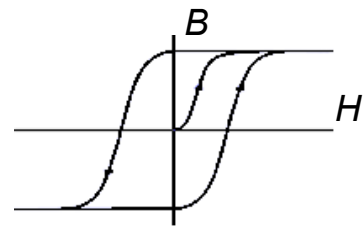
Феромагнітний матеріал, магнітний матеріал – металевий матеріал у твердому стані, здатний намагнічуватися під дією зовнішнього магнітного поля і частково зберігати придбану намагніченість після видалення зовнішнього поля.

Магнітна індукція – силова характеристика магнітного поля

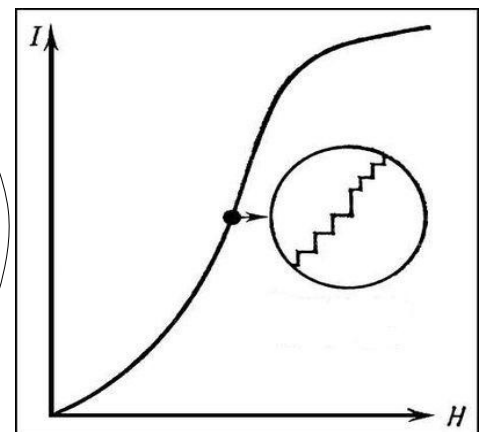
$B = \mu_0(H + M)$, де $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ Гн/м магнітна стала;
H – напруженість магнітного поля; M – намагніченість

Напруженість магнітного поля H – векторна величина, що характеризує магнітне поле, що визначається моментом пари сил, діючих на контур зі струмом, яка не залежить від властивостей середовища

Магнітний гістерезис – явище відставання зміни величини намагніченості матеріалу ОК від зміни напруженості зовнішнього магнітного поля

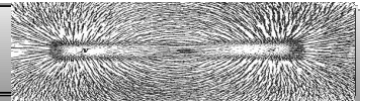


Крива намагнічування – графічне зображення залежності намагніченості феромагнетика від зовнішнього магнітного поля. Розрізняють криві первинного намагнічування, криві циклічного перемагнічування (статичні петлі гістерезису) та основні, або комутаційні, криві (геометричне місце вершин симетричних петель перемагнічування). За кривими намагнічування визначають магнітні властивості матеріалів (магнітну сприйнятливість, залишкову намагніченість та ін.)



Крива намагнічування феромагнітного зразка

Коерцитивна сила, H_c – напруженість магнітного поля, зворотного поля намагніченого ОК, яким потрібно впливати на об'єкт для зниження його намагніченості до нуля



Фізичні основи

Магнітна проникність – фізична величина, що характеризує здатність речовини змінювати свою магнітну індукцію при впливі магнітного поля

$$\mu = B/H$$

Намагніченість – векторна фізична величина, що характеризує стан речовини при її намагнічуванні

$$M = \lim_{V \rightarrow \infty} \frac{\sum m}{V}, \text{ де } V \text{ – об'єм речовини;}$$

m – елементарний магнітний момент

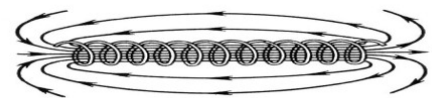
Залишкова намагніченість об'єкта контролю, залишкова індукція, B_r – намагніченість (індукція), яку має ОК після зняття зовнішнього магнітного поля.

Магнітна сприйнятливість – здатність речовини намагнічуватися у магнітному полі

$$\chi_m = M/H$$

у діамагнетиків $\chi_m \ll 0$, у парамагнетиків $\chi_m > 0$,
у феромагнетиків $\chi_m \gg 0$

Магнітні силові лінії – лінії, дотичні до яких в кожній точці поля збігаються з напрямом магнітного поля; якісно характеризують розподіл електромагнітного поля у просторі

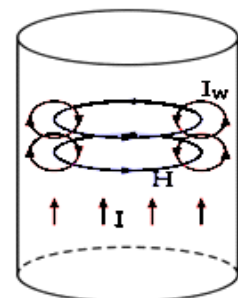


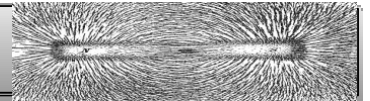
Силові лінії напруженості магнітного поля в соленоїді

Поле розсіювання дефекту – одна зі складових магнітного поля дефекту, обумовлена зміною напрямку магнітного потоку в матеріалі ОК внаслідок локальної зміни магнітної проникності матеріалу в зоні дефекту



Скін-ефект (поверхневий ефект) – ефект слабшання електромагнітних хвиль по мірі їхнього проникнення вглиб середовища їх поширення. Скін-ефект викликаний виникненням вихрових струмів у провідному середовищі при розповсюдженні через нього електромагнітної хвилі

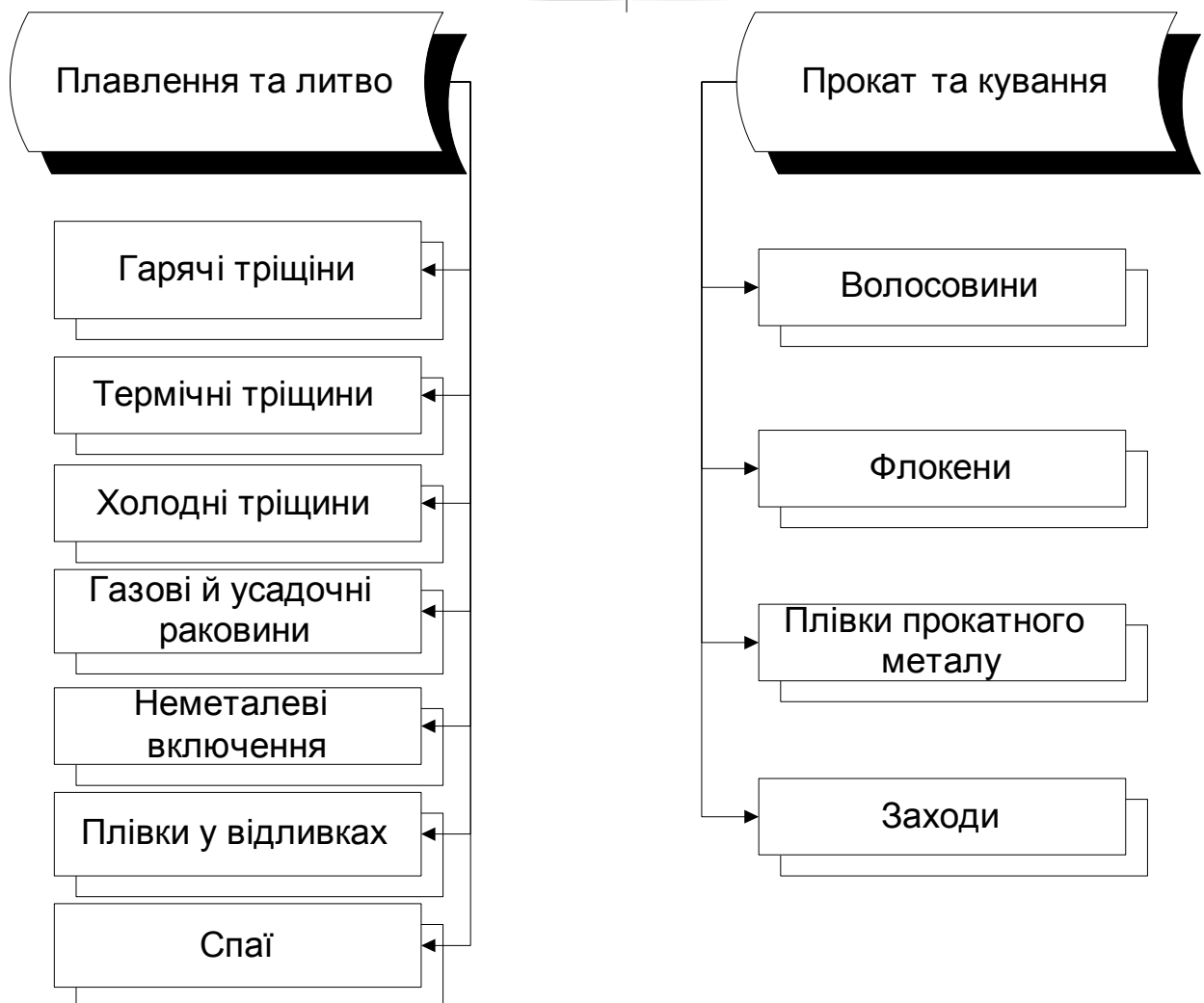


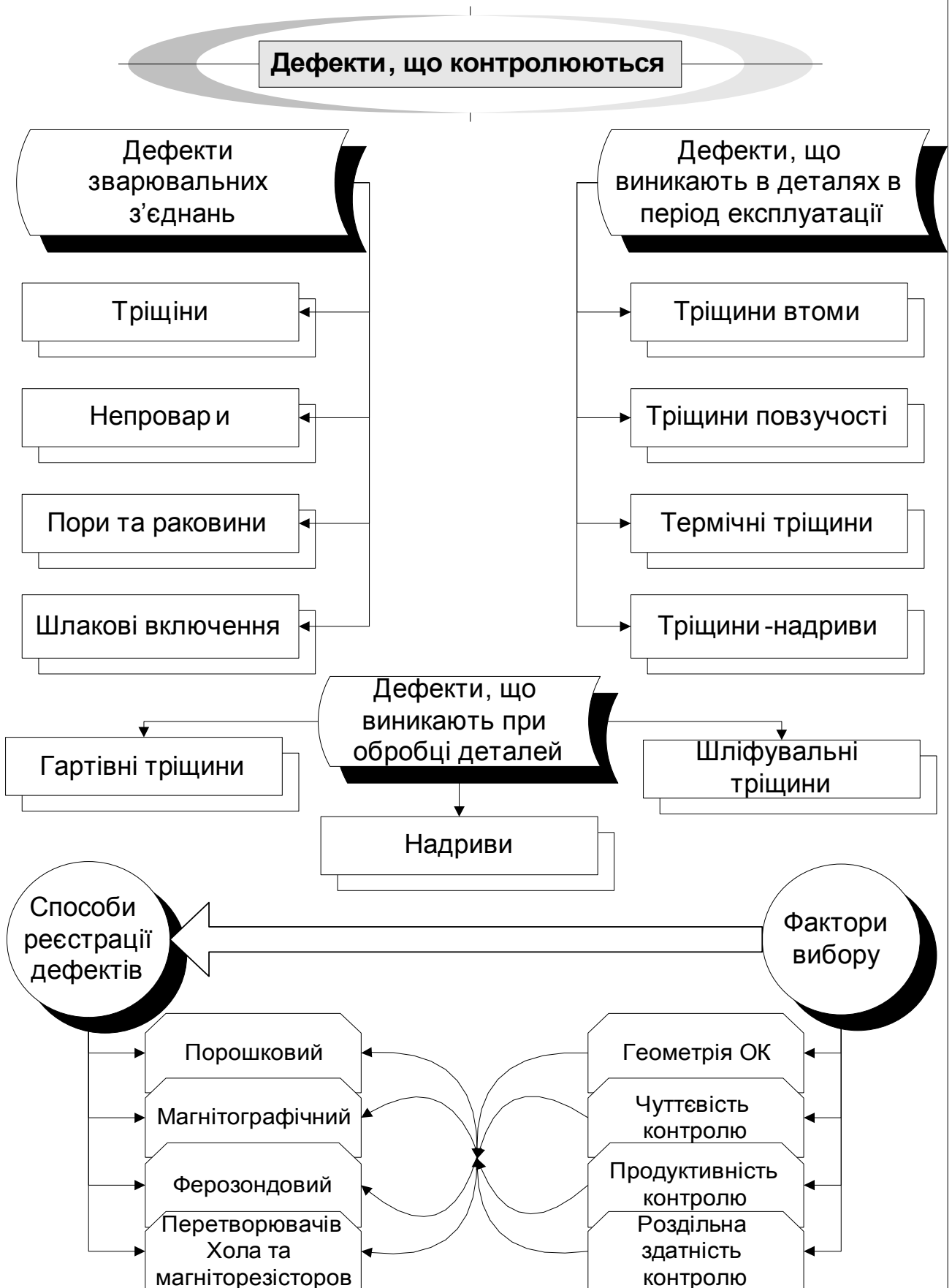
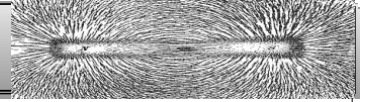


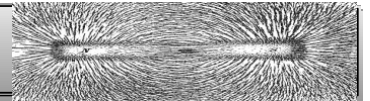
Напрями контролю



Дефекти, що контролюються







Засоби контролю

Товщиномір



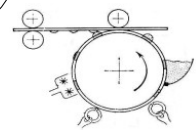
Структуроскоп



Дефектоскоп на перетворювачах Холла



Магнітографічний дефектоскоп



Аналізатор концентрації суспензії



Феритометр



Дефектоскоп пондеромоторної дії



Ферозондовий дефектоскоп



Магніторезисторний дефектоскоп

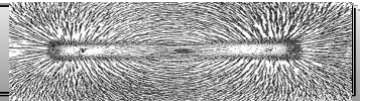


Магнітопорошковий дефектоскоп



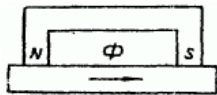
Індукційний дефектоскоп – дефектоскоп, в якому в якості елементів використовуються індукційні перетворювачі

Напівпровідниковий дефектоскоп – дефектоскоп, в якому в якості чутливих елементів використовується магнітонапівпровідниковий прилад

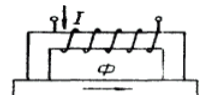


Види намагнічування

Постійним магнітом



Електромагнітом

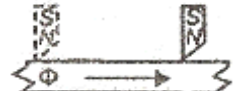


Поздовжнє

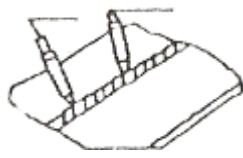
Соленоїдом або котушкою



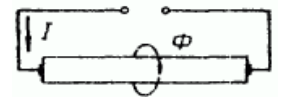
Переміщенням постійного магніту по ОК



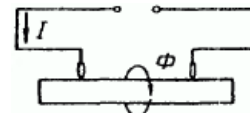
Пропусканням струму по ділянках ОК



Пропусканням струму через весь ОК

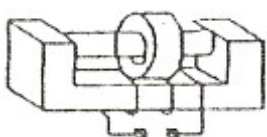


Пропусканням струму через частину ОК

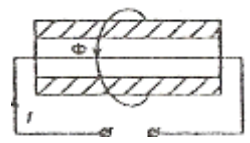


Циркулярне

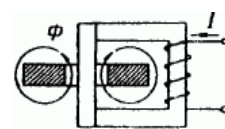
Збудженням струму в ОК



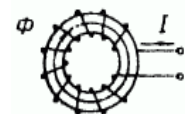
Пропусканням струму по провіднику в отворі в ОК

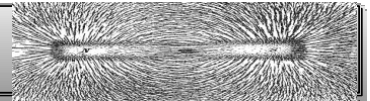


Пропусканням струму через додатковий провідник



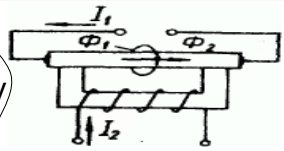
Пропусканням струму по тороїдній обмотці





Види намагнічування

Електромагнітом і пропусканням струму через весь ОК

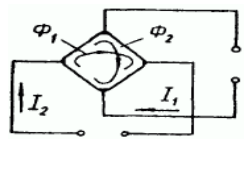


Соленоїдом і пропусканням струму через весь ОК

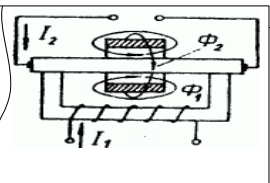


Комбіноване

Пропусканням по ОК двох струмів у взаємно перпендикулярних напрямках

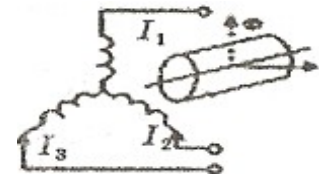


Пропусканням струму через додатковий провідник та індукуванням струму в ОК



В обертальному магнітному полі

За допомогою соленоїду з обертальним магнітним полем



Способи розмагнічування ОК

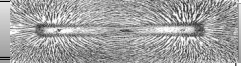
Повільне протягування намагніченого ОК через отвір котушки, що живиться змінним струмом

Пропускання змінного струму, що дорівнює магнетувальному, безпосередньо через деталь з поступовим зменшенням його до нуля

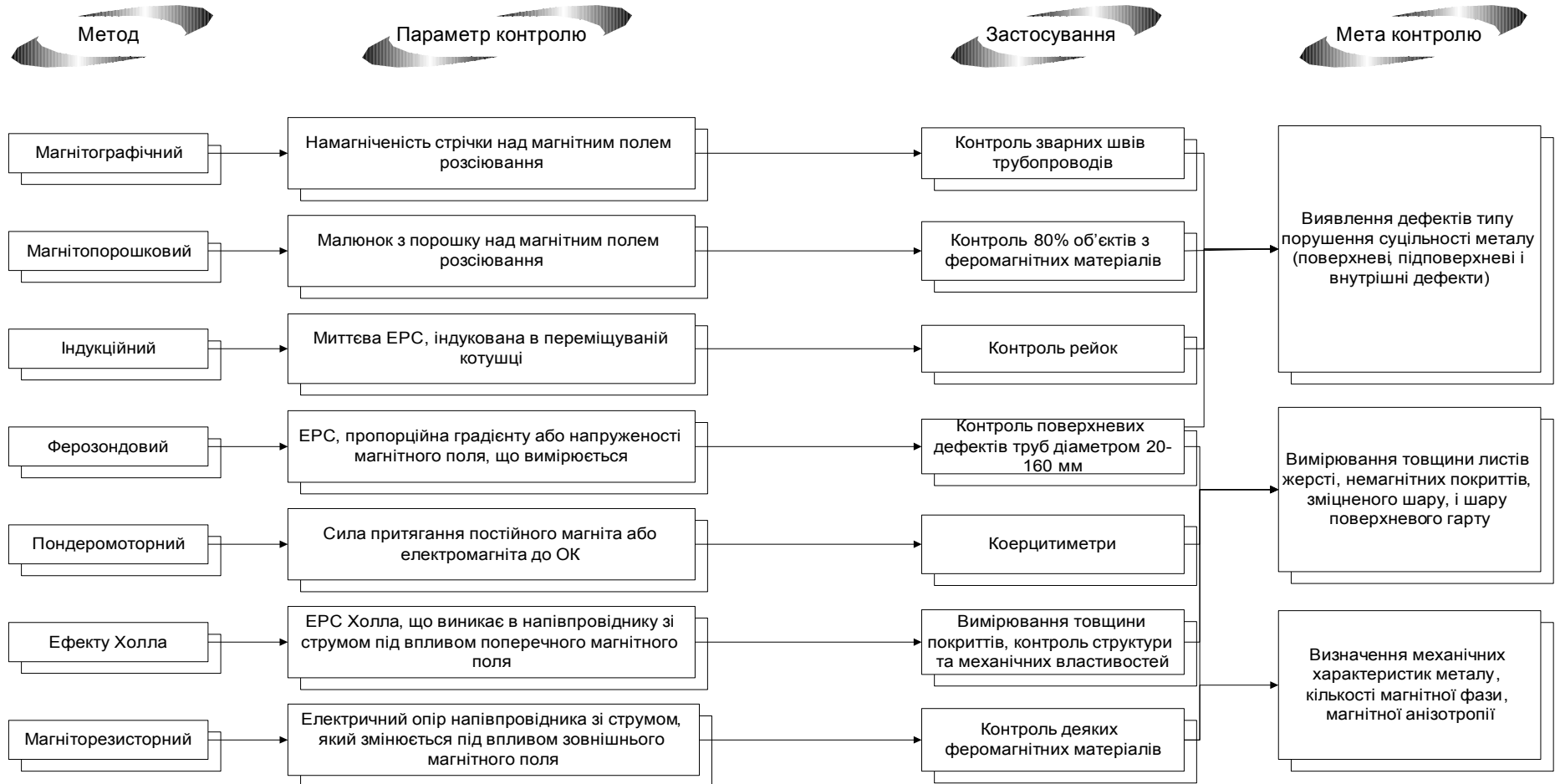
Комутація постійного струму в соленоїді або в обмотках електромагніта з поступовим зниженням струму до нуля

Використання електромагніта, питомого змінним струмом, що поступово знижується до нуля

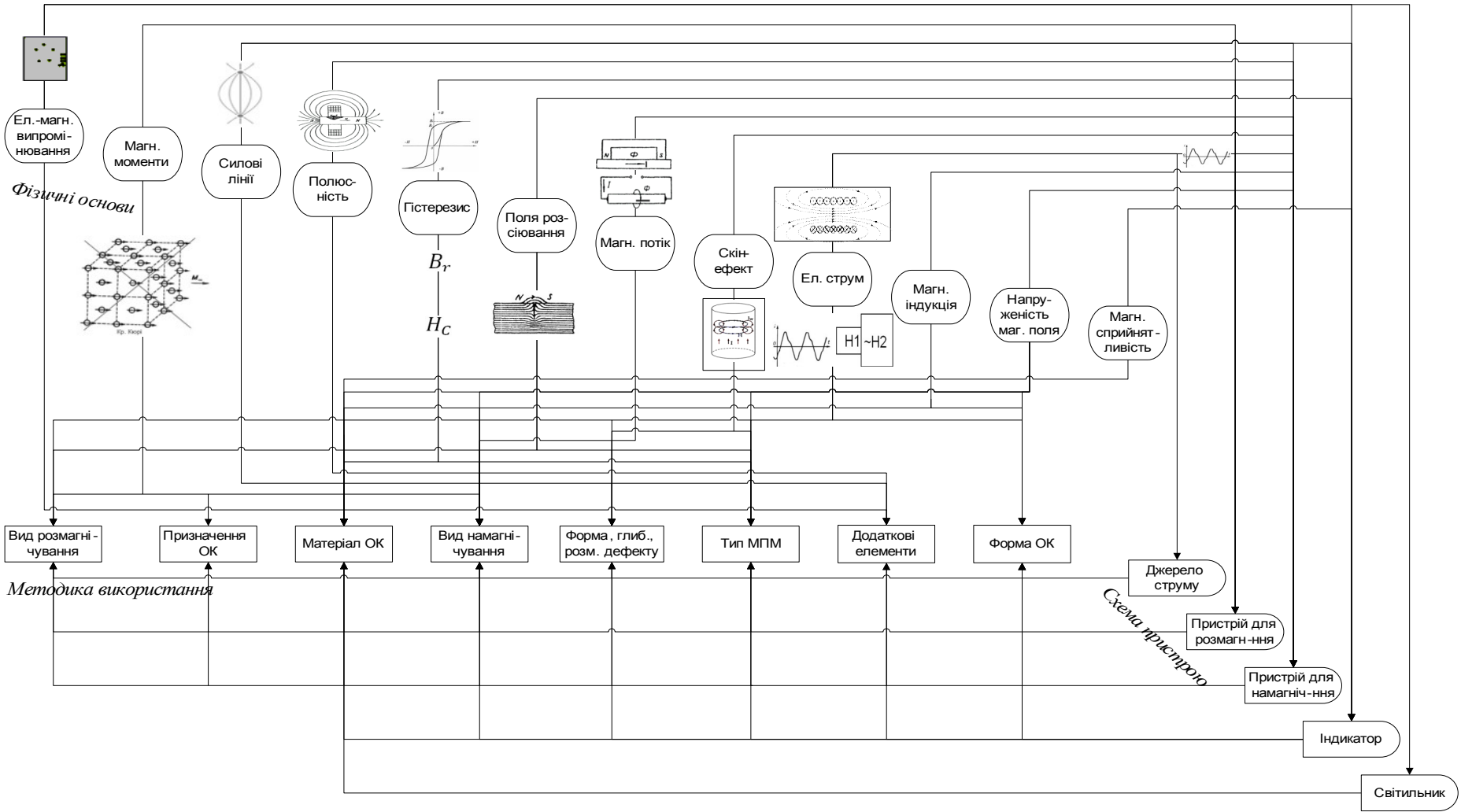
! Кращий результат досягається з використанням тих же засобів, що застосовувалися при намагнічуванні

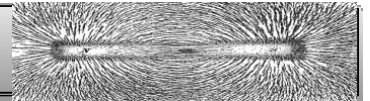


Методи контролю



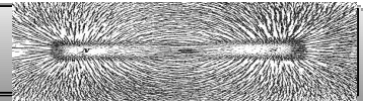
Магнітопорошковий метод





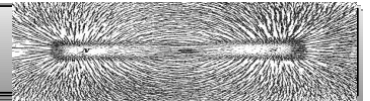
Питання з МПМ

1. Відомо, що найкраще виявлення дефектів досягається у разі, якщо кут спрямування магнітного потоку по відношенню до передбачуваного дефекту дорівнює 90° , що обумовлено найкращим виходом силових ліній магнітного поля на поверхню ОК і створенням полів розсіювання. Що необхідно зробити, якщо кут спрямування магнітного потоку по відношенню до передбачуваного дефекту не дорівнює 90° ?
2. Розрізняють типи намагнічування: поздовжнє, при якому магнітний потік рухається в поздовжньому напрямку; циркулярне, при якому струм пропускається навколо деталі. Який обрати тип намагнічування об'єкту, якщо невідома форма можливого дефекту?
3. Постійний струм створює магнітне поле, що глибоко проникає всередину ОК, змінний струм високої частоти при протіканні по провіднику розподіляється нерівномірно по перетину, а переважно в поверхневому шарі. Як проконтролювати деталь, якщо невідома глибина дефекту?
4. Феромагнітні матеріали мають магнітну проникність в десятки і сотні разів більшу, ніж інші матеріали, що дозволяє магнітним силовим лініям при зустрічі з дефектом виходити назовні ОК; при зниженні магнітної напруженості до нуля у феромагнітних матеріалах зберігається залишкова індукція завдяки мимовільним частинам (доменам) обсягу феромагнетика. Як проконтролювати за допомогою МПМ неферомагнітні матеріали?
5. У магнітом'яких матеріалах $H_c \leq 800 \text{ A/m}$ (Ст. 5, Ст. 10, Ст. 20). Їх не вдається намагнітити до необхідного значення індукції. Необхідна менша напруженість для отримання індукції, внаслідок чого збільшується чутливість і підвищується намагніченість в поверхневому шарі (поверхневий ефект). Як проконтролювати дефекти об'єктів з магнітом'яких матеріалів?
6. Деталь, виконана з магнітотвердого матеріалу, має $H_c \geq 800 \text{ A/m}$ (ШХ 15, Р 9, Р 18). При зниженні магнітної напруженості до нуля у феромагнітних матеріалах зберігається залишкова індукція. Як проконтролювати дефекти об'єктів з магнітотвердого матеріалу?
7. Як проконтролювати об'єкт зі сплаву магнітом'якого та магнітотвердого матеріалів?
8. Нижче певної критичної температури (точки Кюрі) встановлюється дальній феромагнітний порядок магнітних моментів атомів, що дозволяє позбутися від залишкової індукції. Як розмагнітити деталь, що піддавалася термообробці (вже має певні механічні властивості)?
9. Як розмагнітити деталь, що не піддавалася термообробці?
10. Розрізняють типи МПМ: спосіб прикладення магнітного поля, при якому деталь контролюється без зняття магнітного поля і спосіб залишкової намагніченості, при якому деталь контролюється зі зняттям магнітного поля. Який тип МПМ, на вашу думку, є найбільш раціональним?
11. Намагніченість ОК загасає пропорційно відстані до пристрою намагнічування. Як намагнітити ОК великого розміру з врахуванням даного факту?



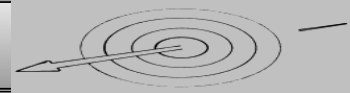
Питання з МПМ

12. При різкому переході від малого перетину до більшого магнітна індукція послаблюється пропорційно квадрату діаметра. Як зменшити ослаблення індукції?
13. Скін-ефект (поверхневий ефект) – ефект слабшання електромагнітних хвиль у міру їхнього проникнення вглиб середовища їх поширення. В результаті цього ефекту, наприклад, змінний струм високої частоти, при протіканні по провіднику розподіляється не рівномірно по перетину, а переважно в поверхневому шарі. Він викликаний виникненням вихрових струмів у провідному середовищі при розповсюдженні через нього електромагнітної хвилі. У результаті цього в середовищі виникають втрати енергії, що призводить до зменшення напруженостей електричного і магнітного полів і густини струму, тобто до затухання хвилі. Як зменшити негативний вплив скін-ефекту?
14. Як прочитати темний індикаторний (порошок або суспензія) малюнок на темних поверхнях?
15. У якості індикатора застосовується магнітний порошок, який завдяки високій магнітній проникності, внаслідок взаємодії з полями розсіювання утворює ланцюжок над дефектом. Як поліпшити умови осадження магнітного порошку на поверхні деталі?
16. Після застосування МПМ на металі почала розвиватися корозія. В чому причина?
17. За рахунок яких факторів МПМ дає можливість визначати дефекти глибиною до 250 мкм і шириною до 25 мкм?
18. Як заощадити час на розмагнічування?
19. В партії деталей необхідно проконтролювати поверхневі і підповерхневі дефекти. Чи можливо це зробити одним способом?
20. При циркулярному намагнічуванні застосовуються спеціальні електричні контакти для завдання найбільш раціонального напрямку потоку, але при швидкому магнітному насиченні можливий припал деталі електричними контактами. Як можна цього уникнути?
21. За використання постійного магніту для намагнічування ОК способом залишкової намагніченості на краях утворюються полюси, що приводить до руху силових ліній у зворотному напрямку. Як уникнути похибки, пов'язаної з появою додаткових полюсів?
22. При зниженні магнітної напруженості до нуля у ферромагнітних магнітотвердих матеріалах зберігається залишкова індукція. Як розмагнітити деталь з магнітотвердого матеріалу?
23. Побудуйте каузальну мережу з блоку „Фізичні основи”.
24. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу магнітного НК.



Література до розділу

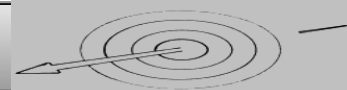
1. Абакумов А. А., Абакумов А. А. (мл.). Магнитная диагностика газонефтепроводов . – М.: Энергоатомиздат , 2001. – 432 с.
2. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная , ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий : Учеб. Для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
3. Власов В. Т., Дубов А. А. Физические основы метода магнитной памяти металла. – М.: ЗАО «ТИССО», 2004. – 424 с.
4. Ергучев Л. А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава . – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 90 с.
5. Литво. Контроль магнітопорошковий .: ДСТУ EN 1369:2005 . – К., 2005. – 17 с.
6. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Ключева. Т. 4: В 3 кн. – Кн. 1: В. А. Анисимов, Б. И. Каторгин, А. Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия . Кн. 2: Г. С. Шелихов. Магнітопорошковий метод контролю . Кн. 3: М. В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение , 2006. – 736 с.
7. Неруйнівний контроль зварних з`єднань. Магнітопорошковий контроль зварних з`єднань.: ДСТУ EN 1290-2002. – К., 2002. – 16 с.
8. Неруйнівний контроль . Зварні з'єднання устаткування й конструкцій . Метод магнітної пам'яті металу. Загальні вимоги.: ДСТУ 4857:2007 . – К., 2007 –15 с.
9. Неруйнівний контроль . Контроль магнітопорошковий . Ч. 1. Загальні вимоги.: ДСТУ EN ISO 9934-1-2005 . – К., 2005. – 18 с.
10. Неруйнівний контроль . Контроль магнітопорошковий . Ч. 2. Засоби контролювання.: ДСТУ EN ISO 9934-2-2005 . – К., 2005. – 21 с.
11. Шелихов Г. С. Магнітопорошкова дефектоскопія в рисунках и фотографиях : практ. пособие . – М.: ДНТЦ Дефектоскопія , 2002 . – 322 с.
12. Шелихов Г. С. Магнітопорошкова дефектоскопія деталей и узлов : практическое пособие / Под ред. В. Н. Лозовского. – М.: Научно-технический центр «Эксперт», 1995. – 224 с.



Електричний неруйнівний контроль (Electrical nondestructive testing) – вид неруйнівного контролю, заснований на реєстрації параметрів електричного поля, що взаємодіє з об'єктом контролю або виникає в об'єкті в результаті зовнішньої дії

! Контролюються струмопровідні об'єкти





Фізичні основи

Напруженість електричного поля E – векторна фізична величина, що характеризує електричне поле в даній точці і чисельно дорівнює відношенню сили F , що діє на пробний заряд, розміщений у даній точці поля, до величини цього заряду q

Електричний струм – впорядкований рух заряджених частинок у просторі. У металах це електрони, напівпровідниках – електрони та дирки, у електролітах – позитивно та негативно заряджені іони, у іонізованих газах – іони та електрони. За напрямком струму вибирають рух позитивно заряджених частинок. Таким чином, напрямком струму в металах протилежний напрямку руху електронів.



Величина $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ називається силою струму, і відповідає кількості заряду (Δq), переміщеному через переріз провідника за час Δt

Щільність струму – векторна фізична величина, що має смисл сили струму, що протікає через одиницю площі

При рівномірному розподілі щільності: j струму по перетину S

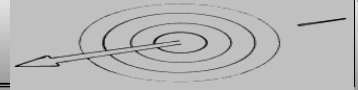
провідника $|\vec{j}| = \frac{I}{S}$

Напруга – напругою U_{12} на ділянці електричного кола 1-2 називається фізична величина, що визначається роботою, яка виконується сумарним полем електростатичних і сторонніх сил при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола

Електричний опір – скалярна фізична величина, що характеризує властивості провідника і рівна відношенню напруги на кінцях провідника до сили електричного струму, що протікає по ньому

$R = \frac{U}{I}$, де R – електричний опір; U – різниця електричних потенціалів на кінцях провідника; I – струм, що протікає між кінцями провідника під дією різниці потенціалів

Електрична провідність, g (електропровідність, провідність) – це фізична величина, зворотна електричному опору



Фізичні основи

Ємність – характеристика провідника, міра його здатності накопичувати електричний заряд. Для одиночного провідника ємність дорівнює відношенню заряду провідника до його потенціалу в припущенні, що всі інші провідники нескінченно віддалені і що потенціал нескінченно віддаленої точки прийнятий рівним нулю

$$C = \frac{Q}{U}, \text{ де } C - \text{ємність; } Q - \text{заряд;}$$

$U - \text{потенціал провідника}$

Діелектрична проникність – величина, що характеризує діелектричні властивості середовища, її реакцію на електричне поле. Її величина істотно залежить від типу речовини і від зовнішніх умов (температури, тиску тощо). У змінних електричних полях залежить від частоти поля E

$$D = \epsilon E, \text{ де } E - \text{напруженість електричного поля; } D - \text{електрична}$$

$\text{індукція в середовищі; діелектрична проникність -}$
 $\text{коефіцієнт пропорційності } \epsilon$

Напрями контролю

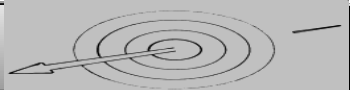
Дефектометрія

Дефектоскопія

Товщинометрія

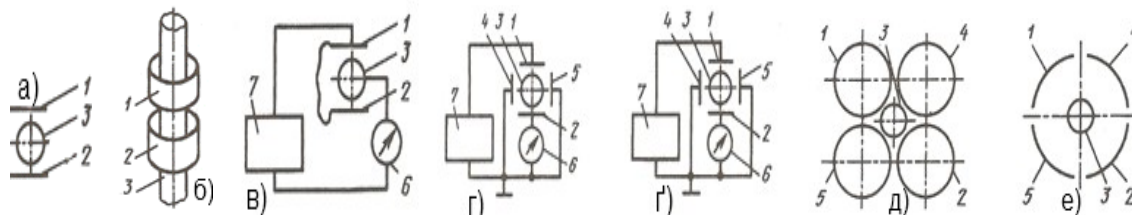
Структуроскопія

Структурометрія



Засоби контролю

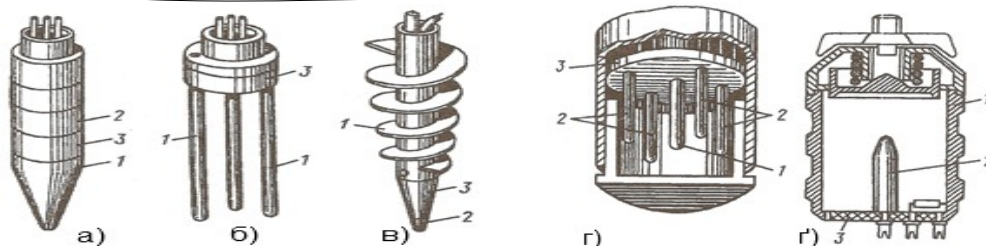
Прохідні електричні перетворювачі



Вимірювання ємності: а-в – повної; г-г' – часткової; д-е – перехресної.

1 – високопотенційний електрод; 2 – низькопотенційний електрод; 3 – ОК;
4, 5 – охоронні електроди; 6 – індикатор; 7 – джерело живлення

Електричні перетворювачі для контролю сипких матеріалів

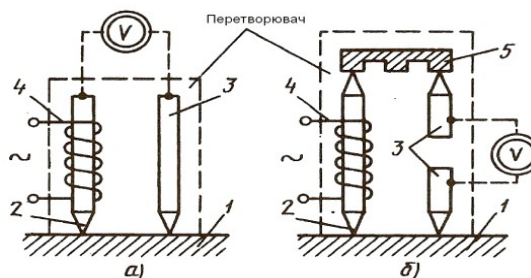


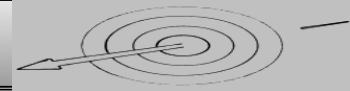
а-в – занурені; г – типу посудини; г' – типу посудини з пресовим пристроєм

1 – високопотенційний електрод; 2 – низькопотенційний електрод;
3 – ізоляційна основа

Термоелектричні пристрої

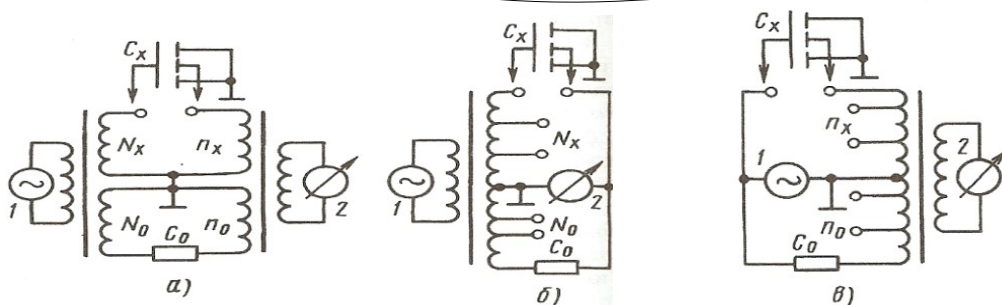
Схеми контролю шляхом прямого перетворення (а) та диференційованим методом (б). 1 – ОК; 2 – гарячий електрод; 3 – холодний електрод; 4 – елемент, що нагрівається; 5 – зразок





Засоби контролю

Пристрої для визначення складу та структури матеріалів



Мости з індуктивно пов'язаними плечима: 1 – генератор; 2- індикатор.
Умови рівноваги:

$$а) \frac{C_x}{C_0} = \frac{N_0 n_0}{N_x n_x}; \quad б) \frac{C_x}{C_0} = \frac{N_0}{N_x}; \quad в) \frac{C_x}{C_0} = \frac{n_0}{n_x}.$$

Електропотенційний тріщиномір



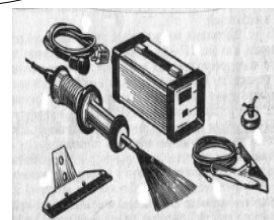
Термоелектричний дефектоскоп

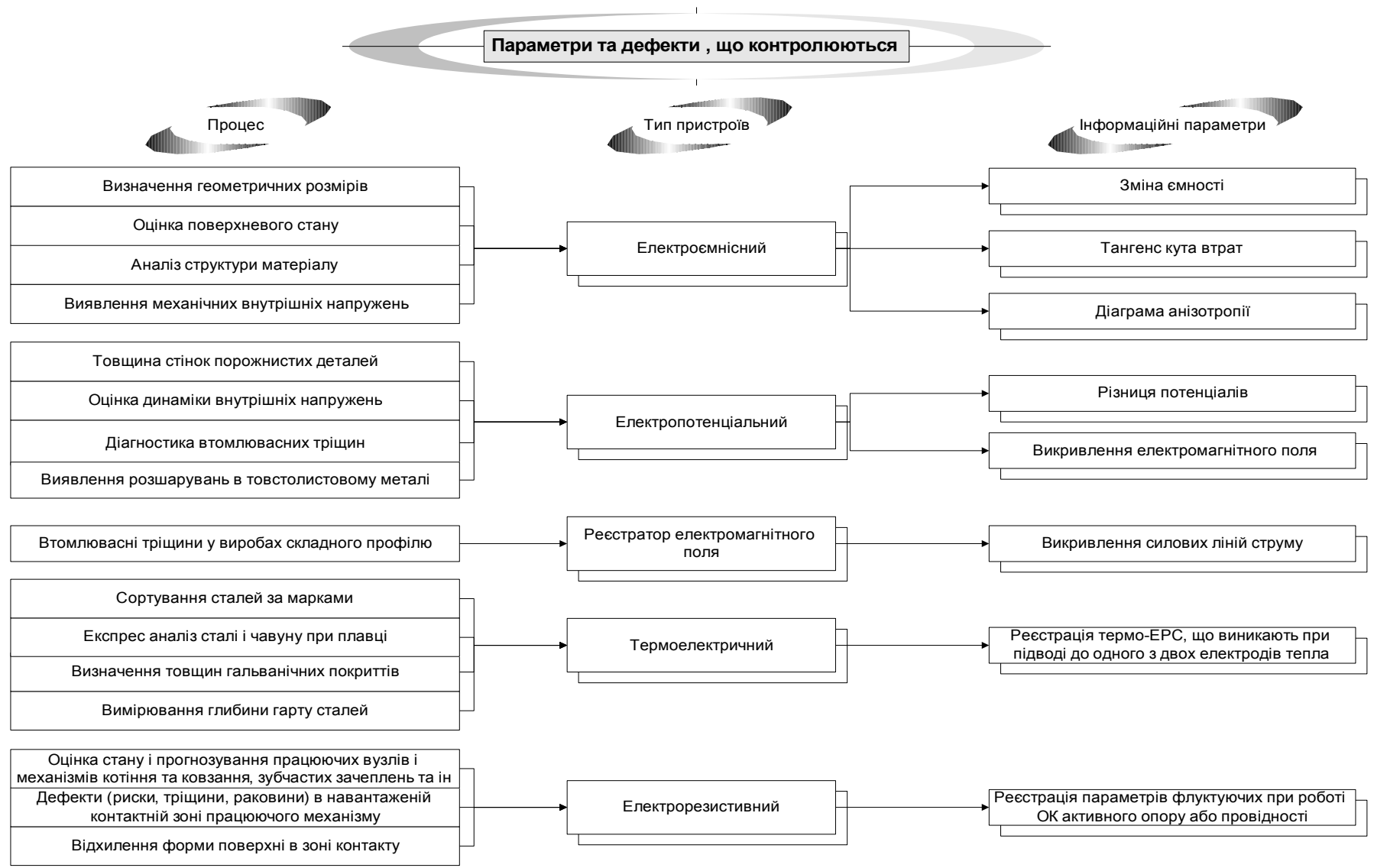


Детектор мікроотворів



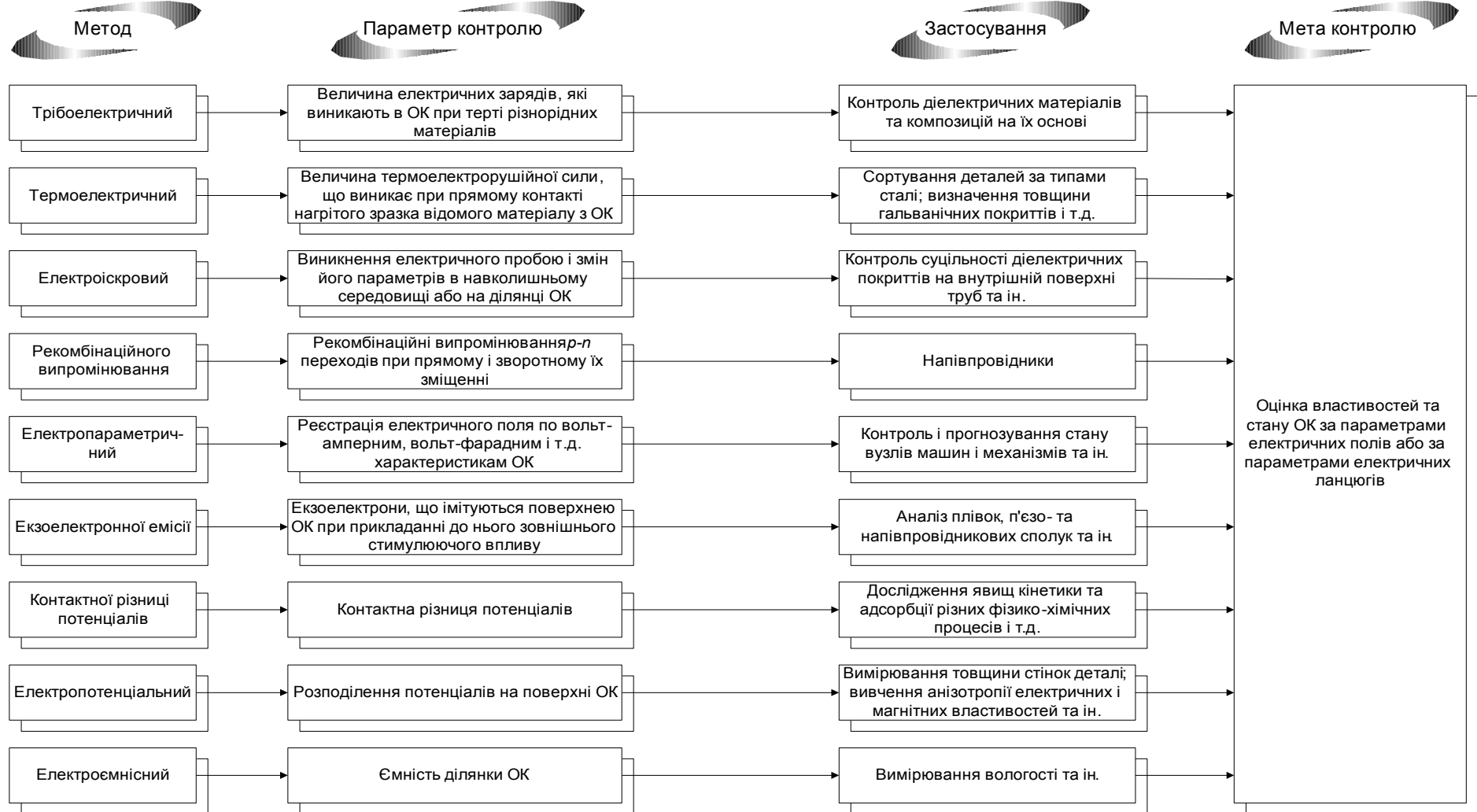
Електроіскровий дефектоскоп





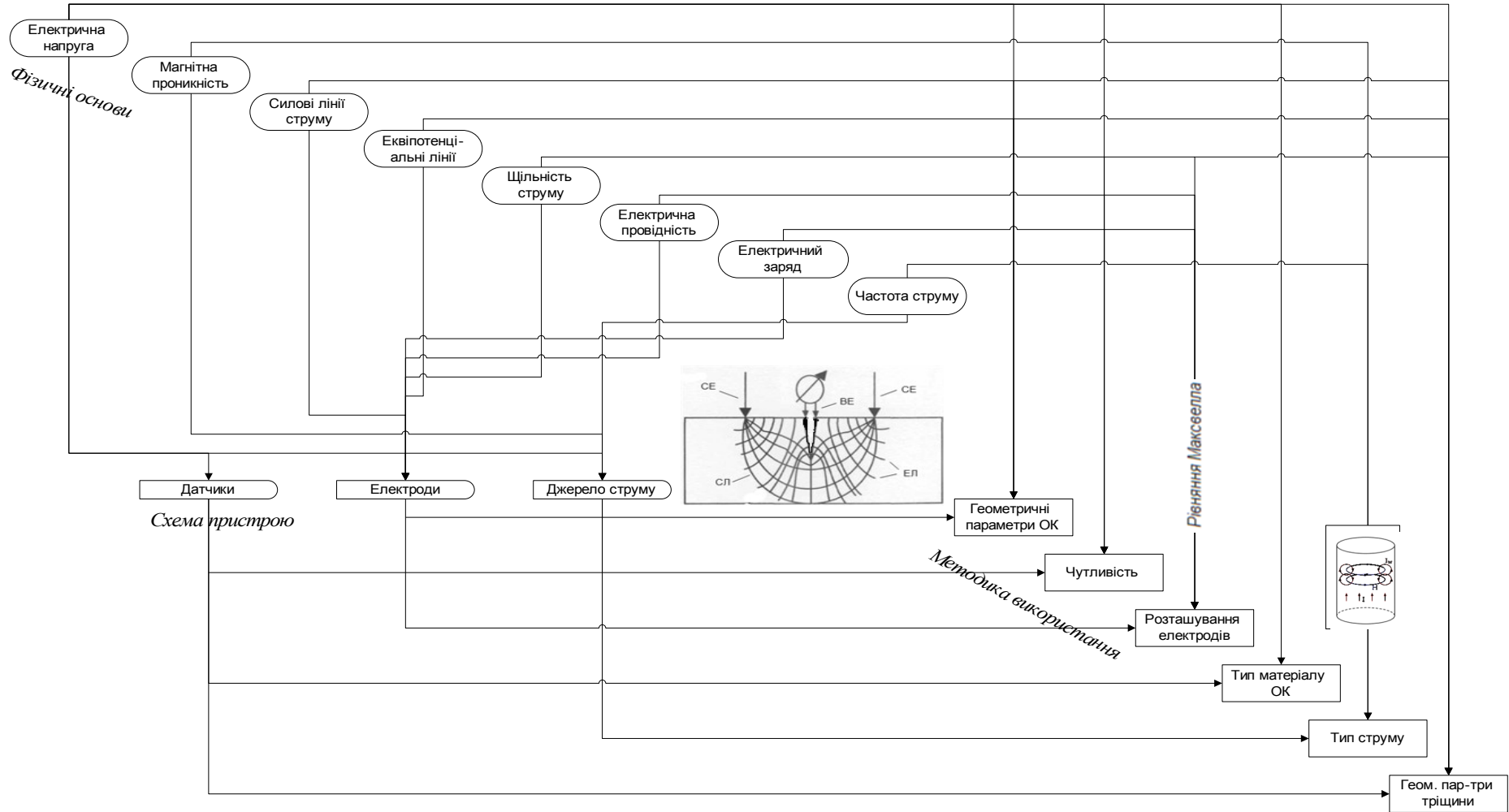


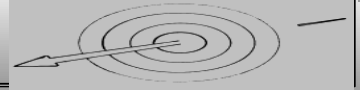
Методи контролю





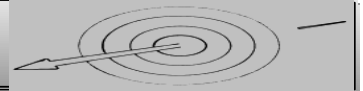
Електропотенціальний метод





Питання з ЕПМ

1. Відомо, що робота електропотенціальних приладів заснована на прямому пропусканні струму через ділянку, що контролюється, і вимірюванні різниці потенціалів на певній ділянці. При пропусканні через електропровідний об'єкт електричного струму в об'єкті створюється електричне поле. Геометричне місце точок з однаковим потенціалом складає екіпотенціальні лінії. Яким чином визначити, що картина силових та екіпотенціальних ліній вказує на дефект?
2. Що спільного між силовими лініями струму та щільністю струму?
3. Відомо, що різниця потенціалів залежить від трьох чинників: питомої електричної провідності, геометричних розмірів (наприклад, товщини) і наявності поверхневих тріщин. При пропусканні змінного струму різниця потенціалів залежить і від магнітної проникності та кругової частоти струму. Навіщо тоді використовувати змінний струм?
4. Вплив ширини тріщини проявляється при відношенні її ширини до глибини, більшому 0,1, а довжина повинна не менш ніж у три рази перевищувати глибину. З чим це пов'язано? Як запобігти похибкам, що зумовлюються цими факторами?
5. Яким чином розрахувати відстань між вимірювальними електродами для різних форм виробів?
6. Чому ЕПМ дає можливість визначати дефекти глибиною до 120 мм?
7. Які матеріали та вироби можливо контролювати з використанням електропотенціального методу?
8. В одній партії деталей необхідно проконтролювати поверхневі і підповерхневі дефекти. Чи можливо це зробити одним способом?
9. Необхідно досягти незалежності результатів вимірювань від відстані між струмовими електродами. Запропонуйте модель контактного щупа електропотенціального дефектоскопа.
10. Зробіть порівняльний аналіз електропотенціального методу з магнітопорошковим методом неруйнівного контролю.
11. Електропотенціальні вимірювання використовують разом з вихрострумовими, магнітопорошковими та іншими методами. Запропонуйте раціональне поєднання цих методів.
12. Побудуйте каузальну мережу з блоку „Фізичні основи”.
13. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу електричного НК.



Література до розділу

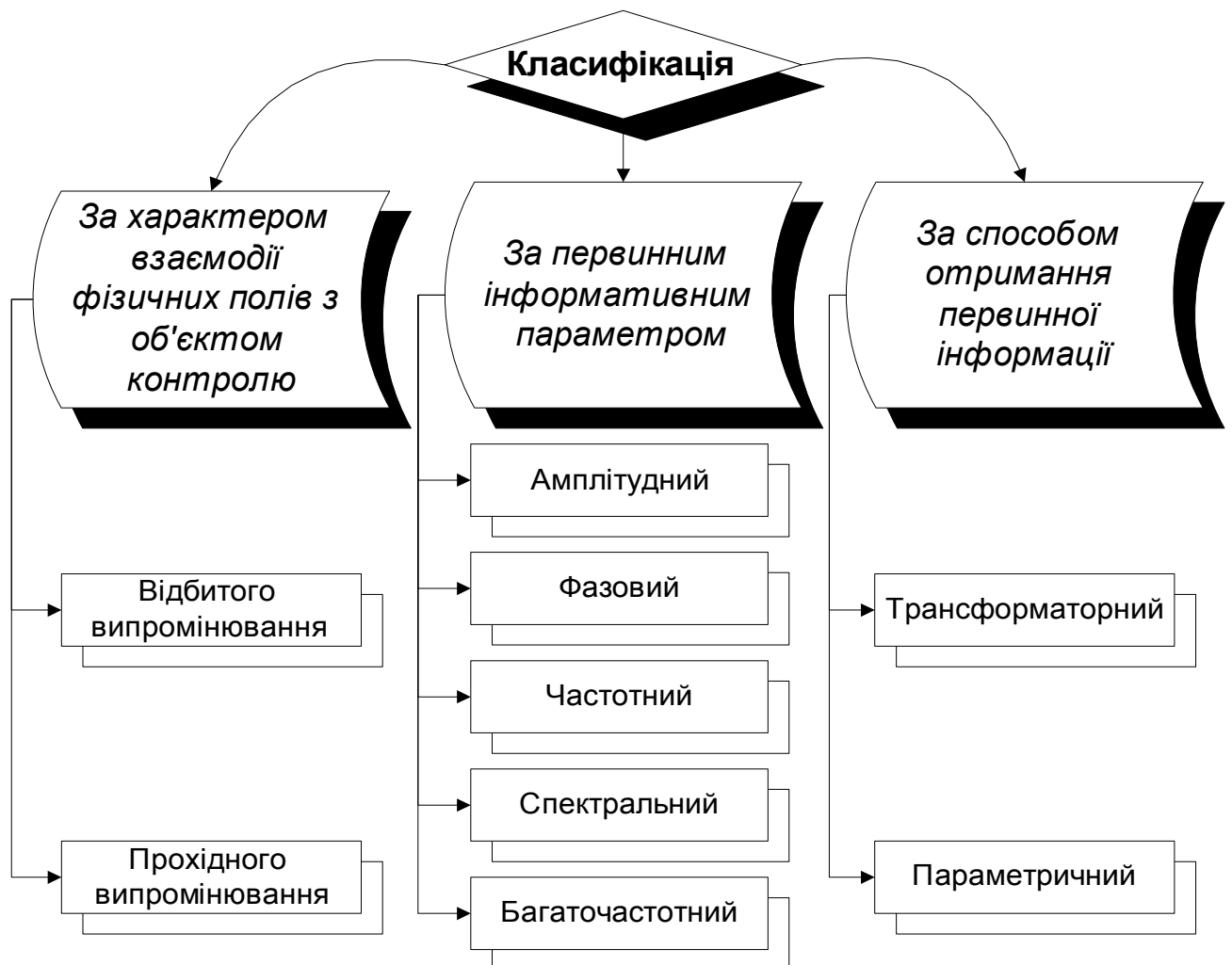
1. Контроль неруйнівний електричний . Терміни та визначення . : ДСТУ 2866-94. – К., 1994. – 15 с.
2. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: В. П. Вавилов. Тепловой контроль . Кн. 2: К. В. Подмастерьев, Ф. Р. Соснин, С. Ф. Корндорф, Т.И. Ногачева, Е. В. Пахолкин, Л. А. Бондарева, В. Ф. Мужичкий. Электрический контроль . – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение , 2006. – 679 с.
3. Неразрушающий контроль . В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль : Практик. пособие / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; Под ред. В. В. Сухорукова . – М.: Высш. Школа, 1992. – 312 с.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий . Справочник под ред . В. В. Клюева. Кн. 2. – М.: Машиностроение , 1986. – 351 с.

Вихрострумний неруйнівний контроль (Eddy current nondestructive testing) - НК, заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю цим полем

! Метод має малу глибину контролю

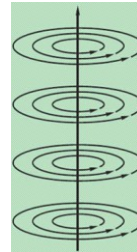
! Нечутливий до змін навколишнього середовища, до радіоактивних випромінювань та забруднення поверхні ОК

! Можна проводити без контакту перетворювача з об'єктом



Фізичні основи

Вихрові струми, струми Фуко – вихрові індукційні струми, які виникають у масивних провідниках при зміні магнітного потоку, який їх пронизує



Імпульсні вихрові струми – вихрові струми, що створюються імпульсним електромагнітним полем

Електромагнітна взаємодія – взаємодія між двома або більше ланцюгами. При вихрострумівому контролі ОК вважається ланцюгом

Ефективна магнітна проникність – комплексна величина, введена для врахування послаблення напруженості магнітного поля в циліндричних об'єктах, створюваної протіканням вихрових струмів. Зазвичай розраховується вихідна напруга вторинної обмотки коаксіального вихрострумівого перетворювача

Збудження, індукція – створення вихрових струмів

Комплексний опір обмотки – імпеданс вимірювальної обмотки, зчленованої з провідним ОК

Відносний реактивний опір – індуктивний опір навантаженої котушки, розділений на індуктивний опір ненавантаженої обмотки

Відносний опір – різниця опорів навантаженої і ненавантаженої котушок, поділений на опір ненавантаженої обмотки

Результуюче магнітне поле – магнітне поле, що є результатом векторної сумми первинного і вторинного полів

Фізичні основи

Фазовий кут сигналу, фаза сигналу – в комплексній площині це кут між вектором, відповідним сигналом, і вектором, що відповідає опорному напрямку. Орієнтація опорного напрямку визначається робочою процедурою

Узагальнений параметр вихрострумного контролю – безрозмірна величина, що характеризує властивості вихрострумного перетворювача, об'єкта контролю або умови контролю, наприклад, параметр

$\beta = R\sqrt{\omega\mu_0\mu Q}$, де R – радіус еквівалентного витка обмотки перетворювача або радіус циліндричного об'єкта контролю при використанні однорідного поля ;

ω – кругова частота струму збудження ;

μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi * 10^{-6}$

μ – магнітна проникність середовища ;

Q – питома електрична провідність середовища

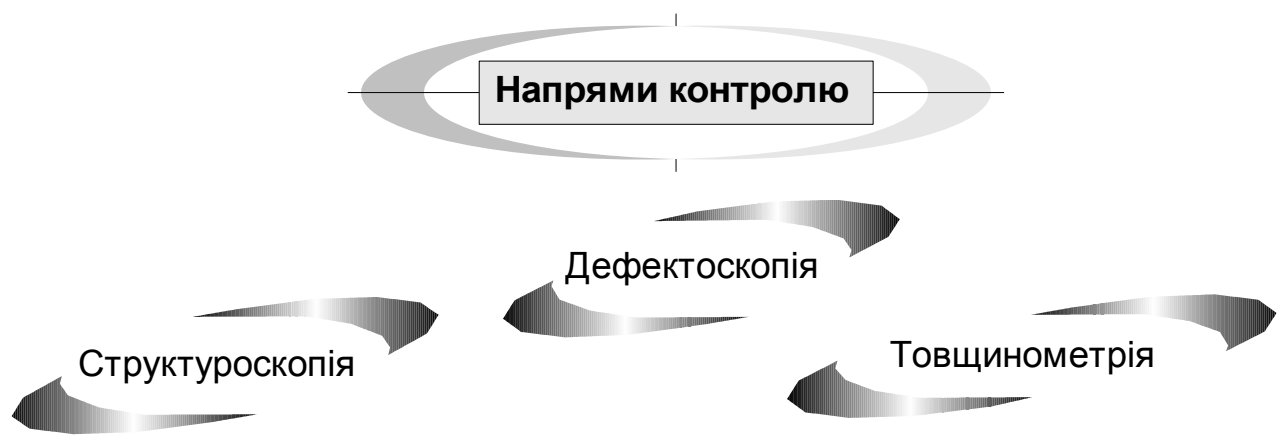
Струм збудження вихрострумного перетворювача – струм обмотки збудження вихрострумного перетворювача

Частота струму збудження вихрострумного перетворювача – частота струму обмотки збудження

Крайовий ефект при вихрострумному контролі - зміна сигналу вихрострумного перетворювача, обумовлена крайовими ділянками об'єкта контролю

Ефект зазору при вихрострумному контролі - зміна сигналу вихрострумного перетворювача, обумовлена зміною зазору

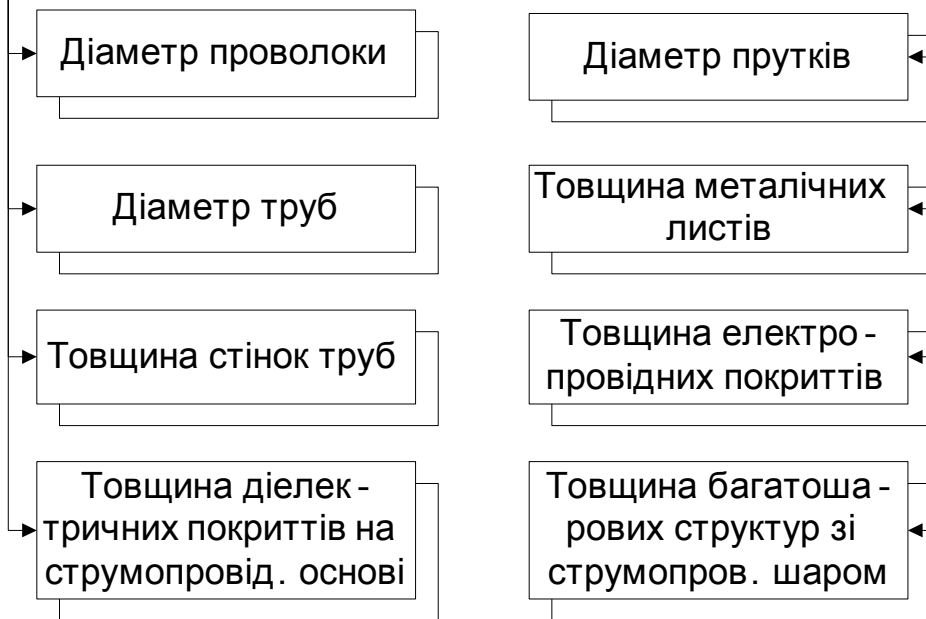
Швидкісний ефект при вихрострумному контролі - зміна сигналу вихрострумного перетворювача, обумовлена вихровими струмами, що виникають в результаті руху об'єкту контролю в магнітному полі вихрострумного перетворювача



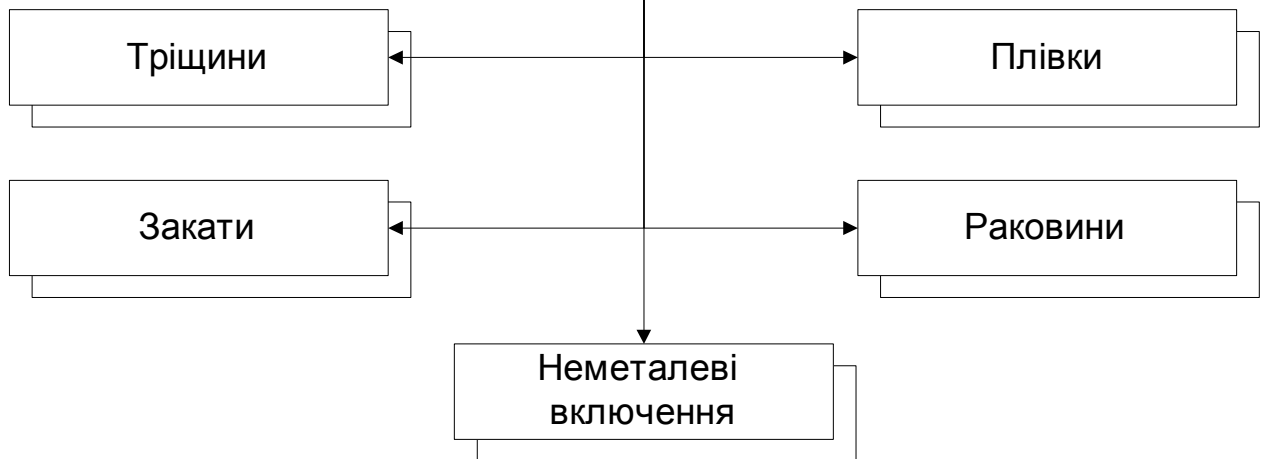


Напрями контролю

Відхилення розмірів



Дефектоскопія



Напрями контролю

Не контролюються

Елементи конструкції

Діелектрики

З різкими змінами
магнітних або електричних
властивостей

З дефектами, площини
розкриття яких паралельні
контрольованій поверхні

З дефектами, площини
розкриття яких складають
кут з поверхнею менше 10°

Зварні шви без знятого
посилення

Дефекти в елементах
конструкцій і деталях

З поверхнями, на які нанесені
електропровідні захисні
покриття, якщо дефект не
виходить на поверхню покриття

З поверхнями, покритими
корозією

Способи виділення інформації

Використання основних властивостей вимірювальних перетворювачів

Варіація умов контролю за певним законом

Застосування двохпараметрових способів виділення корисної інформації з безпосереднім поділом впливу факторів, що враховуються шляхом обробки величин, що характеризують електричний сигнал

Виділення корисної інформації з усуненням заважаючих факторів

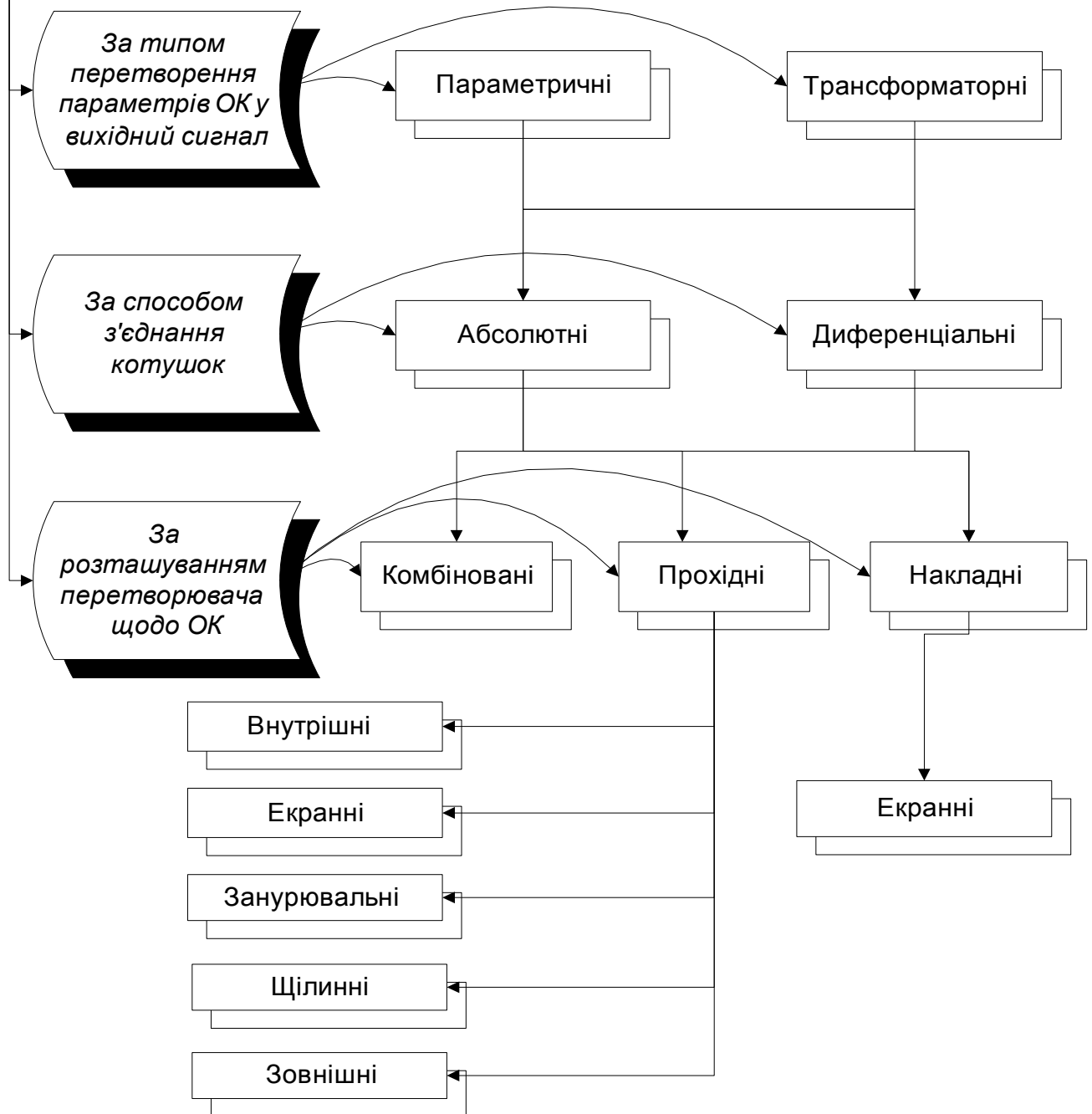
Стабілізація умов контролю шляхом активного або пасивного впливу на об'єкт або перетворювач

Спектральний аналіз електричних сигналів вимірювальних перетворювачів

Використання аналогової або цифрової обчислювальної техніки

Засоби контролю

Вихорострумів і перетворювачі



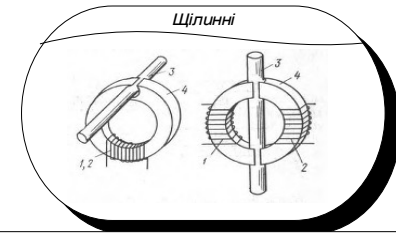
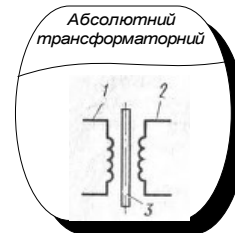
Вихорструмові і перетворювачі



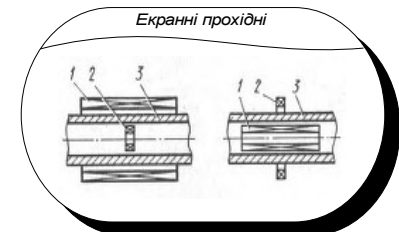
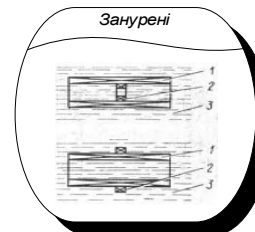
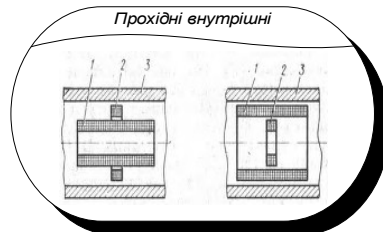
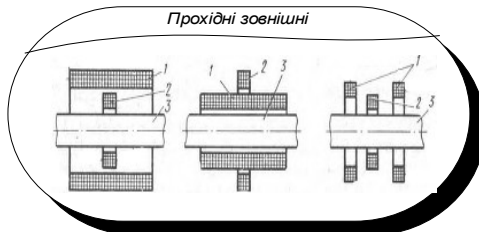
1 – збуджуюча котушка; 2 – вимірювальна котушка; 3 – ОК



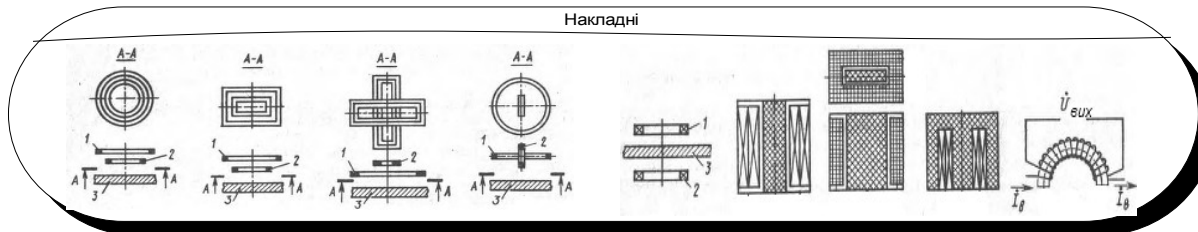
1 – збуджуючі обмотки; 2 – вимірювальні обмотки; 3 – ОК



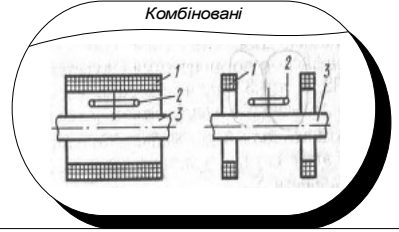
1 – збуджуюча котушка; 2 – вимірювальна котушка; 3 – ОК; 4 – магнітопровід



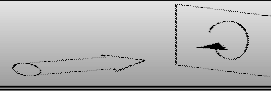
1 – збуджуюча котушка; 2 – вимірювальна котушка; 3 – ОК



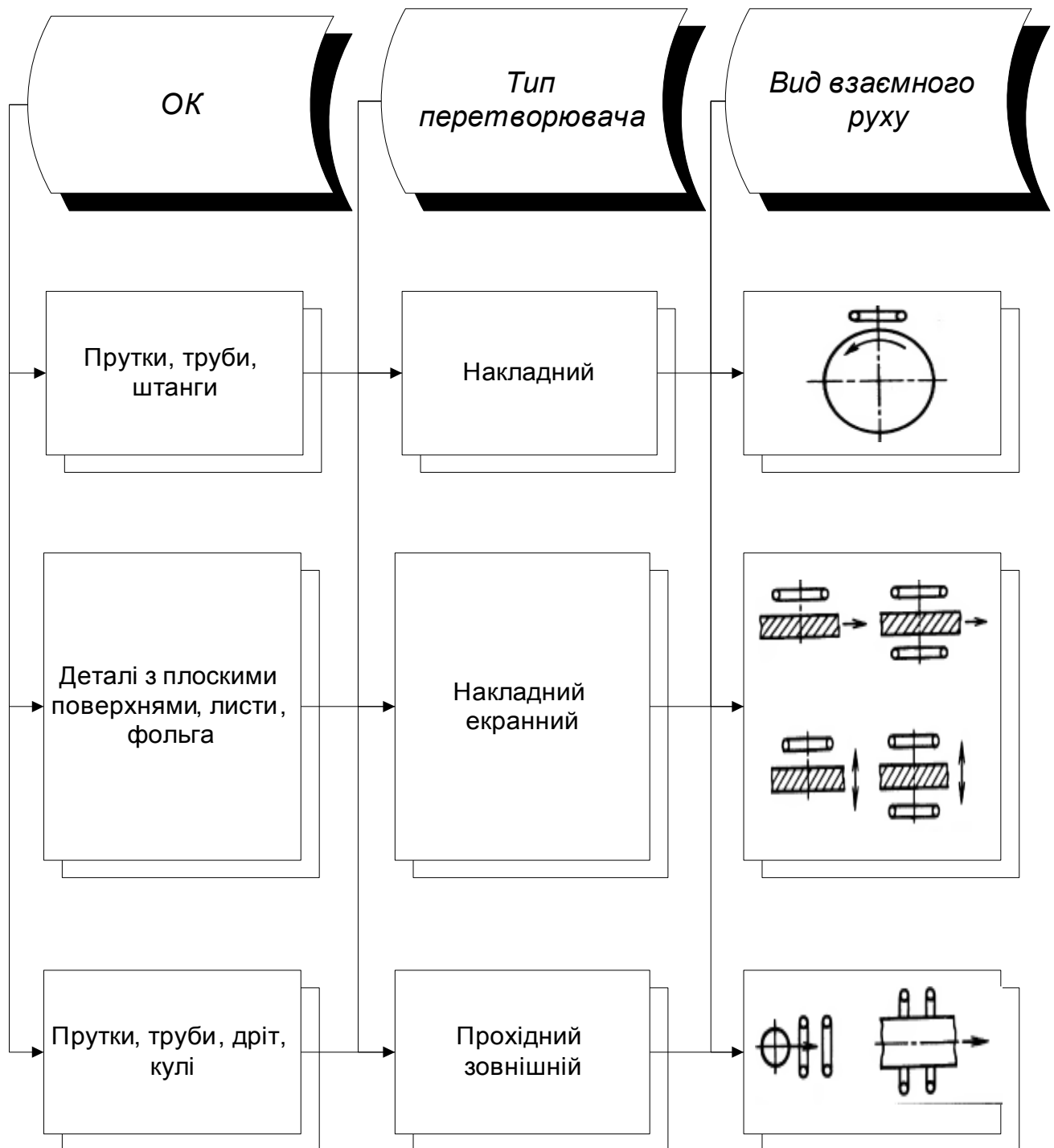
1 – збуджуюча котушка; 2 – вимірювальна котушка; 3 – ОК; без цифр – з феромагнітними сердечниками



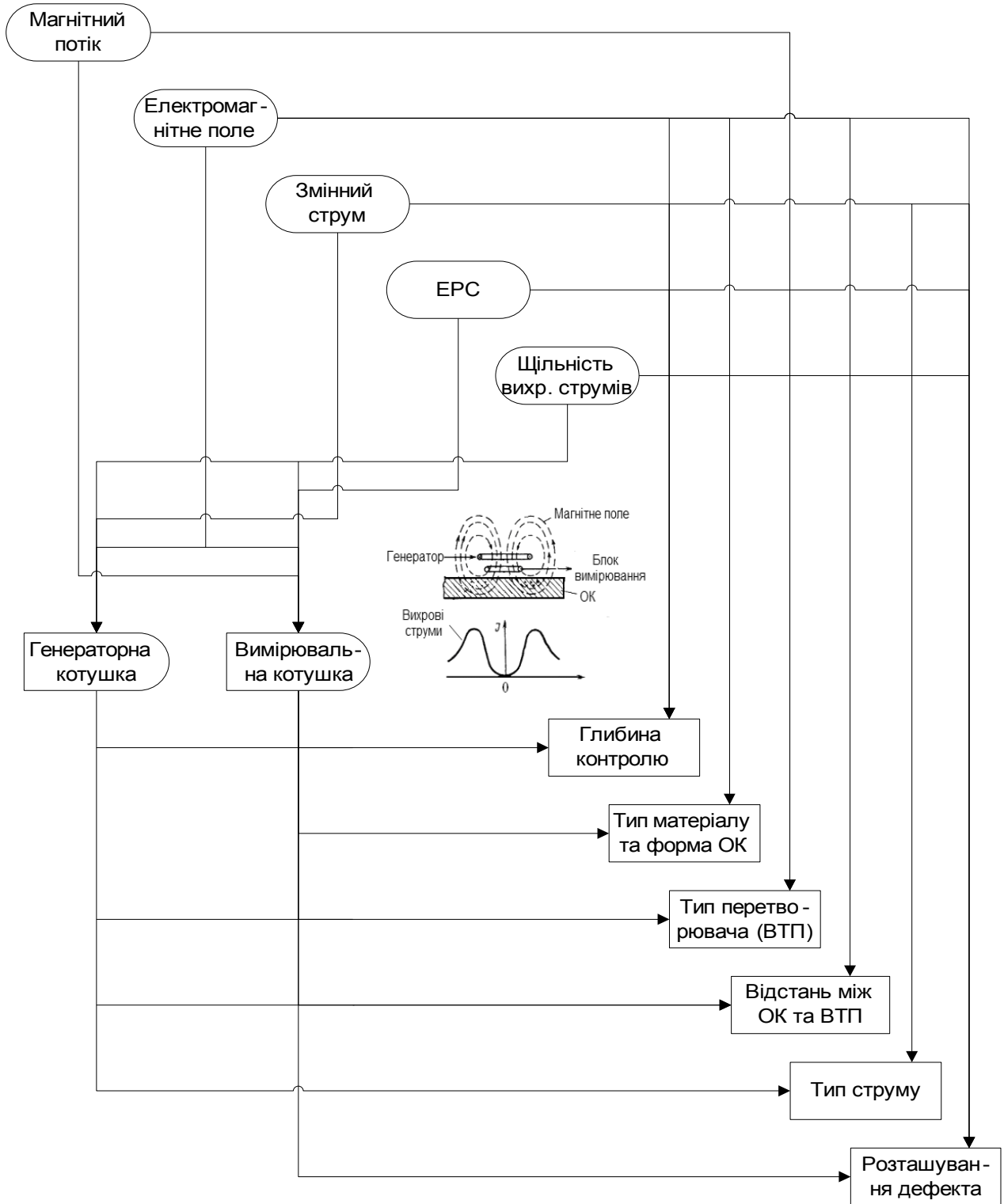
1 – збуджуюча котушка (зліва-направо: у вигляді соленоїда; у вигляді кільця Гельмгольца); 2 – вимірювальна котушка; 3 – ОК



Контроль виробів, що рухаються

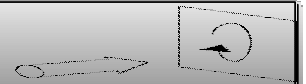


Трансформаторний метод



Питання з ТМ

1. Відомо, що вихрострумові методи контролю засновані на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збудливою котушкою в електропровідному об'єкті контролю. За рахунок чого можна контролювати об'єкти на відстані? Чи можливо це реалізувати на трансформаторному методі?
2. Вихрострумівий метод дозволяє реалізувати багатопараметровий контроль. Які тут можна виділити недоліки та переваги?
3. При використанні накладного перетворювача при сприятливих умовах контролю і малому впливі негативних факторів вдається виявити тріщини завглибшки 0,1-0,2 мм, протяжністю 1-2 мм, а при використанні прохідного перетворювача - тріщини довжиною близько 1 мм і глибиною 1-5% від діаметра контрольованого дроту або прутка. Чим зумовлюється така чутливість?
4. Чи можливий контроль з використанням постійного струму? Чому?
5. Чому метод називається «трансформаторним»?
6. Як заощадити час на проведення контролю трансформаторним методом?
7. Аналізуючи недоліки, зазначені у розділі, запропонуйте способи удосконалення вихрострумівого контролю.
8. На сигнали вихрострумівих перетворювачів практично не впливають вологість, тиск, забрудненість газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні ОК непровідними речовинами. Змодельуйте ситуації, в яких дані переваги визначають вихрострумівий метод як найбільш раціональний серед інших методів неруйнівного контролю.
9. Побудуйте каузальну мережу з блоку „Методика використання”.
10. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу вихрострумівого НК.

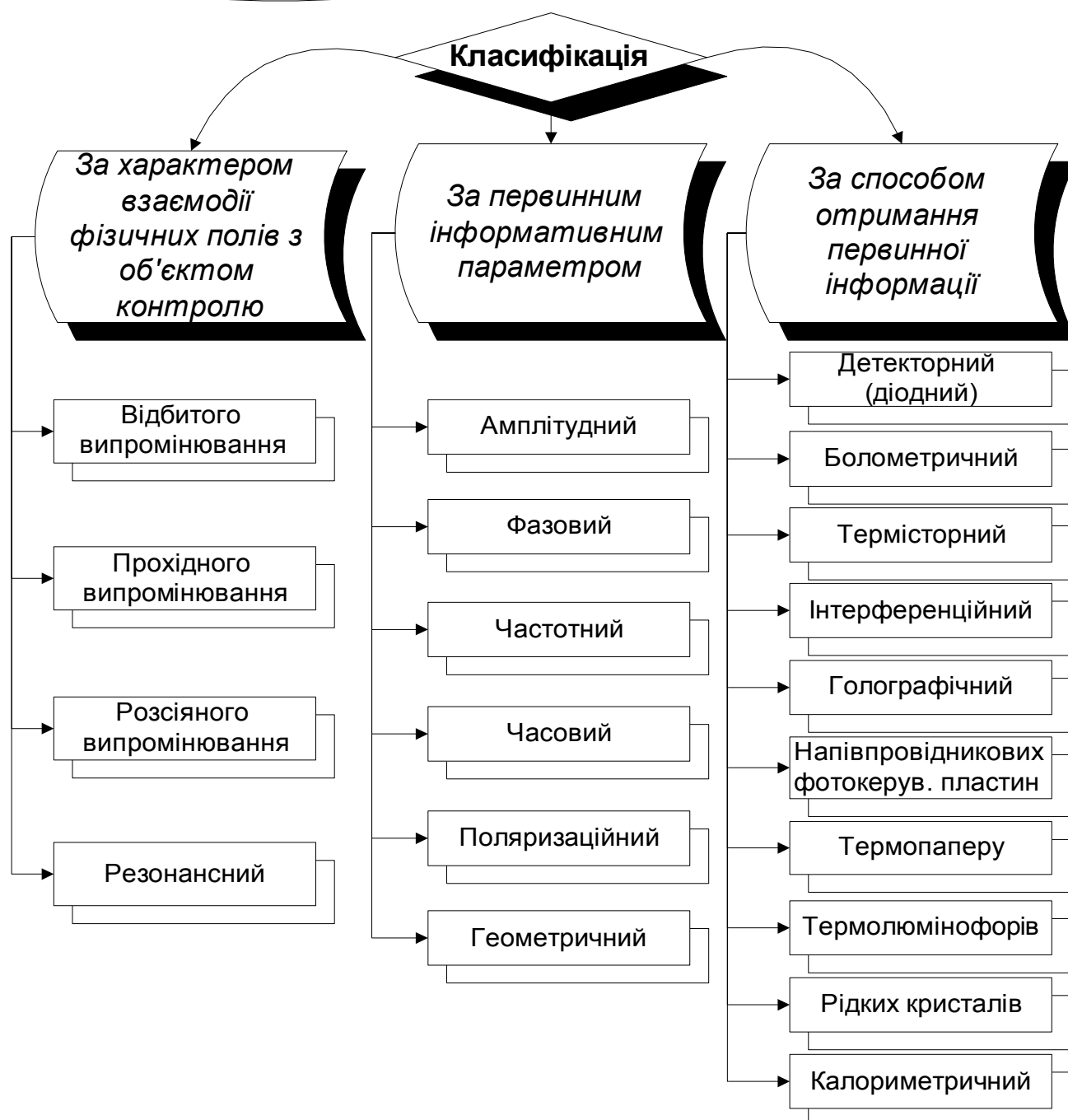


Література до розділу

1. Будівельні матеріали . Арматура стержньова для залізобетонних конструкцій . Вихрострумний метод контролю характеристик міцності . : ДСТУ Б. В. 2.7.-10-95 (ГОСТ 30062-93). – К., 1995. – 13 с.
2. Контроль неразрушающий вихретоковый . Термины и определения . : ГОСТ 24289-80. – М., 1980. – 9 с.
3. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 2: В 2 кн. Кн. 1: А. И. Евлампиев, Е. Д. Попов, С. Г. Сажин, Л. Д. Муравьева С. А. Добротин, А. В. Половинкин, Ю. А. Кондратьев. Контроль герметичности. Кн. 2: Ю. К. Федосенко, В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, Ю. Я. Останин. Вихретоковый контроль . – 2-е изд. – М.: Машиностроение , 2006. – 688 с.
4. Неразрушающий контроль . В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль : Практик. пособие / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; Под ред. В. В. Сухорукова . – М.: Высш. Школа, 1992. – 312 с.
5. Сталь. Методи вихрострумного контролю . : ДСТУ 2828-94. – К., 1994. – 23 с.
6. Неруйнівний контроль . Контроль вихрострумний . Загальні вимоги і рекомендації . : ДСТУ EN 12084:2005 . – К., 2007. – 7 с.



Радіохвильовий неруйнівний контроль (*Radio wave nondestructive testing*) – вид неруйнівного контролю, заснований на реєстрації змін параметрів електромагнітних хвиль радіочастот (в основному НВЧ діапазону), які взаємодіють з ОК





Фізичні основи

Радіовипромінювання (радіохвилі, радіочастоти) – електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль $5 \times 10^{-5} - 10^{10}$ метрів і частотами, відповідно, від 6×10^{12} Гц і до декількох Гц.

Діапазон радіохвиль:

Дуже низькі частоти – 3-30 кГц, відповідає наддовгим хвилям

Низькі частоти – 30-300 кГц, відповідає довгим хвилям

Середні частоти – 300-3000 кГц, відповідає середнім хвилям

Високі частоти – 3-30 МГц, відповідає коротким хвилям

Дуже високі частоти – 30-300 МГц, відповідає ультракоротким (або метровим хвилям)

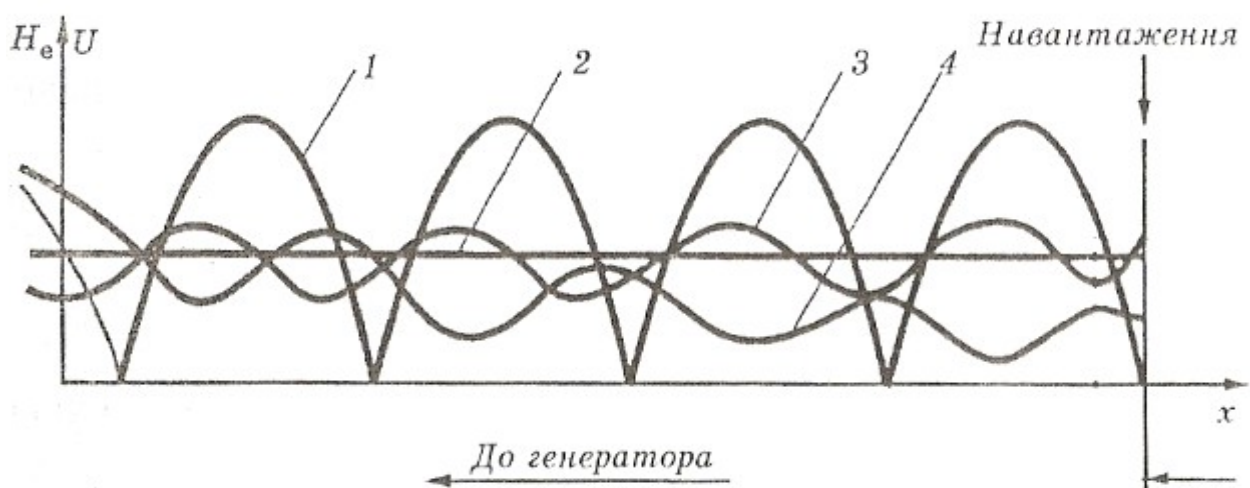
Ультрависокі частоти – 300-3000 МГц, відповідає дециметровим хвилям

Надвисокі частоти – 3-30 ГГц, відповідає сантиметровим хвилям

Вкрай високі частоти – 30-300 ГГц, відповідає міліметровим хвилям

Гіпервисокі частоти – 300-3000 ГГц, відповідає субміліметровим хвилям

Поширення НВЧ коливань в різних режимах



1 – стояча хвиля; 2 – бігуча хвиля; 3 - загальний випадок; 4 – лінія з втратами
 U – напруга



Фізичні основи

Рівняння Максвелла – основні рівняння класичної електродинаміки, які описують електричне та магнітне поле, створене зарядами й струмами. Вимірювання будь-якого параметра при радіохвильовому виді є експериментальне рішення рівнянь Максвелла.

$$\begin{aligned} \text{rot } \mathbf{H} &= \mathbf{J}_{\text{повн}} = \gamma \mathbf{E} + i\omega \epsilon_a \mathbf{E} + \rho \mathbf{v}, & E \text{ і } D & \text{ – вектори напруженості і} \\ & & \text{індукції електричного поля;} \\ \text{rot } \mathbf{E} &= -i\omega \mu_a \mathbf{H}, & H \text{ і } B & \text{ – вектори напруженості і} \\ & & \text{індукції магнітного поля;} \\ \text{div } \mathbf{D} &= \rho, & \delta & \text{ – вектор густини струму} \\ \text{div } \mathbf{B} &= 0, & & \text{провідності;} \\ \mathbf{D} &= \epsilon_a \mathbf{E}, \quad \mathbf{B} = \mu_a \mathbf{H}, \quad \delta = \gamma \mathbf{E}. & \rho & \text{ – об'ємна} \\ & & & \text{густина вільних зарядів;} \\ & & & v & \text{ – швидкість руху вільних} \\ & & & & \text{зарядів. Величина } \rho \mathbf{v} \text{ визначає густину конвекційного струму, } J_{\text{конв}} \\ & & & & \text{(струму перенесення): } J_{\text{конв}} = \rho \mathbf{v} \text{ і характеризує кількість} \\ & & & & \text{електричного заряду, що проходить за одиницю часу через одиницю} \\ & & & & \text{поверхні, нормальної до вектора швидкості } v. \text{ Повна густина} \\ & & & & \text{струму } J_{\text{повн}} \text{ в будь-якому перерізі за } \gamma = 0 \text{ є сумою густин} \\ & & & & \text{конвекційного струму та струму зміщення. Між векторами } E \text{ і } D, H \text{ і } B, \\ & & & & \text{E існує зв'язок, що здійснюється через матеріальні параметри} \\ & & & & \text{середовища: абсолютну діелектричну проникність } \epsilon_a, \text{ абсолютну} \\ & & & & \text{магнітну проникність } \mu_a \text{ і провідність } \gamma. \text{ У разі анізотропних середо-} \\ & & & & \text{вищ проникності і провідності стають тензорними величинами.} \\ & & & & \text{Загальна лінійна залежність між відповідними векторами} \\ & & & & \text{описується за допомогою тензора іншого порядку. У лінійному} \\ & & & & \text{наближенні матеріальні рівняння тепер записуються так:} \end{aligned}$$

з зарядів. Величина $\rho \mathbf{v}$ визначає густину конвекційного струму, $J_{\text{конв}}$ (струму перенесення): $J_{\text{конв}} = \rho \mathbf{v}$ і характеризує кількість електричного заряду, що проходить за одиницю часу через одиницю поверхні, нормальної до вектора швидкості v . Повна густина струму $J_{\text{повн}}$ в будь-якому перерізі за $\gamma = 0$ є сумою густин конвекційного струму та струму зміщення. Між векторами E і D , H і B , E існує зв'язок, що здійснюється через матеріальні параметри середовища: абсолютну діелектричну проникність ϵ_a , абсолютну магнітну проникність μ_a і провідність γ . У разі анізотропних середовищ проникності і провідності стають тензорними величинами. Загальна лінійна залежність між відповідними векторами описується за допомогою тензора іншого порядку. У лінійному наближенні матеріальні рівняння тепер записуються так:

$$\begin{aligned} D_i &= \sum \epsilon_{ij} E_j, & \mathbf{D} &= \epsilon_T \mathbf{E}, & \epsilon_{ij} &\equiv \epsilon_T & \text{ – тензор діелектричної} \\ & & & & & & \text{проникності;} \\ V_i &= \sum \mu_{ij} H_j, \text{ або } \mathbf{V} = \mu_T \mathbf{H}, & \mu_{ij} &\equiv \mu_T & \text{ – тензор магнітної} \\ & & & & & & \text{проникності;} \\ \delta_i &= \sum \gamma_{ij} E_j & \delta &= \gamma_T \mathbf{E}. & \gamma_{ij} &\equiv \gamma_T & \text{ – тензор електричної} \\ & & & & & & \text{провідності} \end{aligned}$$

Коефіцієнт зв'язку між елементами радіохвильового перетворювача – коефіцієнт, що характеризує рівень зв'язку між елементами радіохвильового перетворювача, виражений відношенням проникаючої паразитної потужності до потужності джерела випромінювання, в децибелах



Фізичні основи

Коефіцієнт неоднорідності при раді хвильовому неруйнівному контролі – коефіцієнт, що характеризує ступінь відносних властивостей зміни матеріалу, які аналізуються при радіохвильовому методі неруйнівного контролю, виражених через зміни діелектричних характеристик

$$N\% = \frac{\sum_{l=1}^{n-1} |P_m - P_{m+1}|}{\sum_{l=1}^n P_m \cdot (n-1)} \cdot 100$$

Γ – параметр, що вимірюється;
 n – кількість вимірювань параметра Γ на різних ділянках об'єкта, виконаних в робочому діапазоні або робочій довжині хвилі;
 m – порядковий номер вимірювань в межах від 1 до n

Динамічний енергетичний діапазон радіохвильового приладу – відношення значення випромінюваної приладом радіохвильового неруйнівного контролю потужності до прийнятої, що відповідає його порогу реагування в децибелах

Коефіцієнт стоячої хвилі напруги – відношення максимальної напруги U_{\max} , яку відзначає пристрій, до мінімальної напруги U_{\min}

$$r = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Значення r можна виразити через відношення падаючої та відбитої хвиль:

$$r = \frac{|U_{\text{пад}}| + |U_{\text{від}}|}{|U_{\text{пад}}| - |U_{\text{від}}|} = \frac{1 + \frac{|U_{\text{від}}|}{|U_{\text{пад}}|}}{1 - \frac{|U_{\text{від}}|}{|U_{\text{пад}}|}}$$

Відношення $\frac{|U_{\text{від}}|}{|U_{\text{пад}}|}$, що визначається з цього рівняння, називається коефіцієнтом відбиття Γ .

Рівняння для r може бути записано в наступній формі: $r = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$

Радіопрозорі матеріали - конструкційні, неоднорідні діелектрики з одношаровою або багатшаровою структурою, що не змінюють істотно амплітуду і фазу електромагнітної хвилі радіочастотного діапазону, що проходить крізь них

Напрями контролю

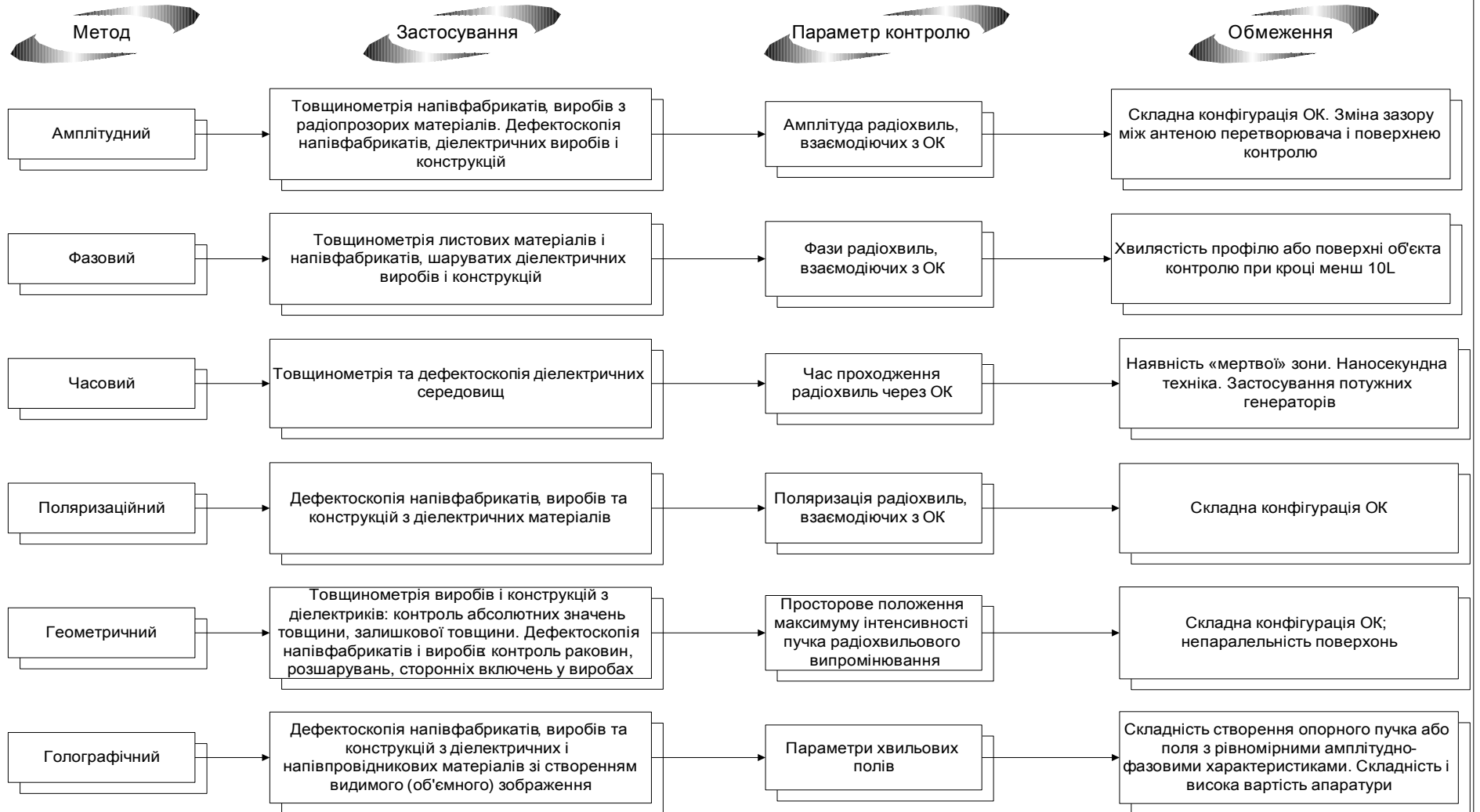
Структуроскопія

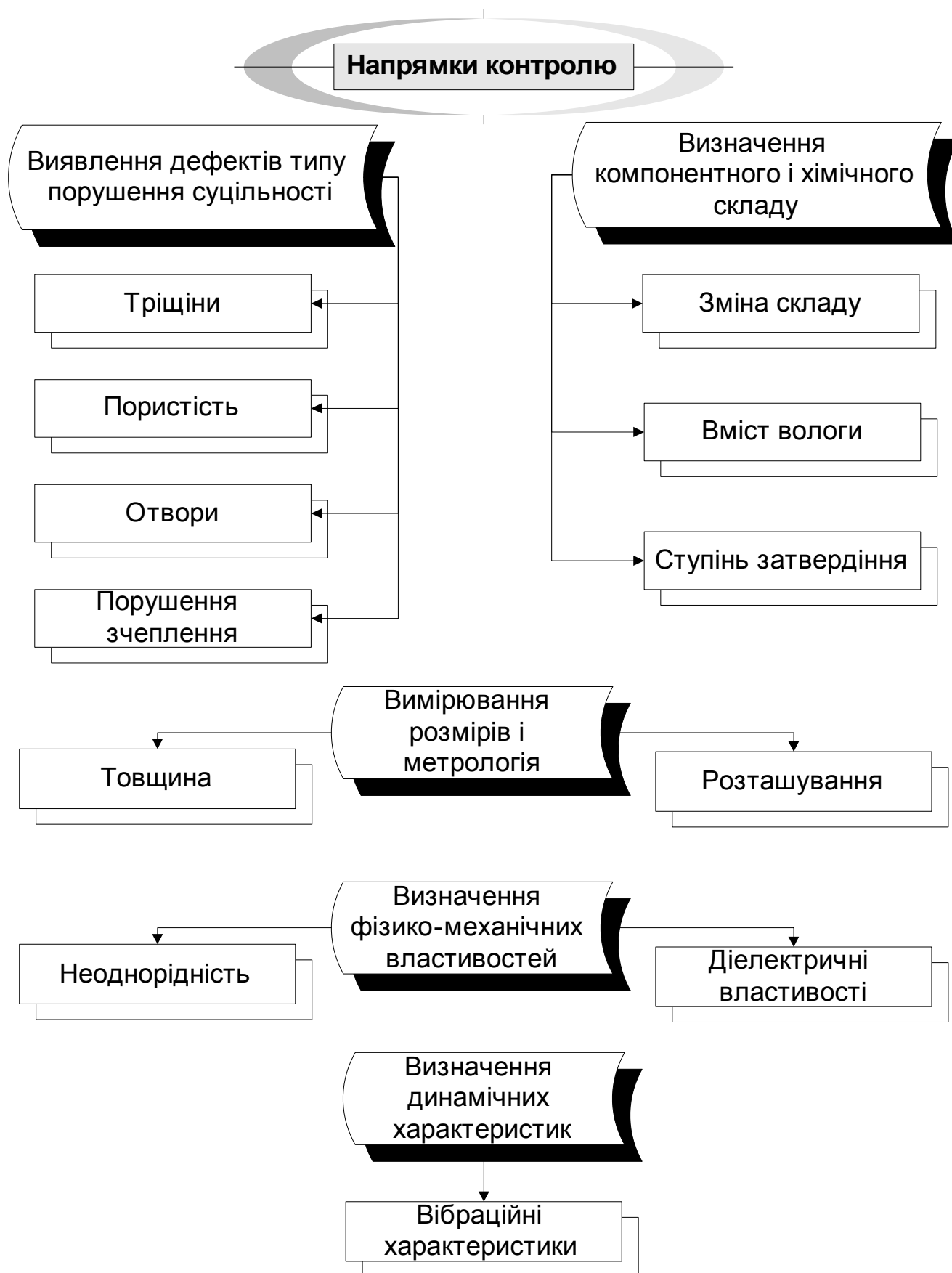
Товщинометрія

Дефектоскопія



Методи контролю







Засоби контролю

Радіохвильовий дефектоскоп – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для виявлення, реєстрації та визначення розмірів і (або) координат дефектів типу порушення суцільності та неоднорідності в ОК

Радіохвильовий товщиномір – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання товщини ОК або його елементів

Радіохвильовий структуроскоп – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для якісного визначення параметрів, що характеризують структуру

Радіоінтроскоп – радіохвильовий дефектоскоп з візуалізацією прихованого зображення ОК або багатоелементною обробкою інформації

Квазіоптичний радіоінтроскоп – радіоінтроскоп, що містить пристрої для квазіоптичного формування радіозображення

Рефлектометр – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання параметрів відбитого від ОК радіохвильового випромінювання



Радіохвильовий вологомір – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання вологості радіопрозорих речовин, матеріалів і виробів з них





Засоби контролю

Радіохвильовий рівнемір – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання рівня або обсягу рідких і пастоподібних середовищ, контролю заданих положень поточного рівня або поточного обсягу в стаціонарних установках

БАРС 332МИ



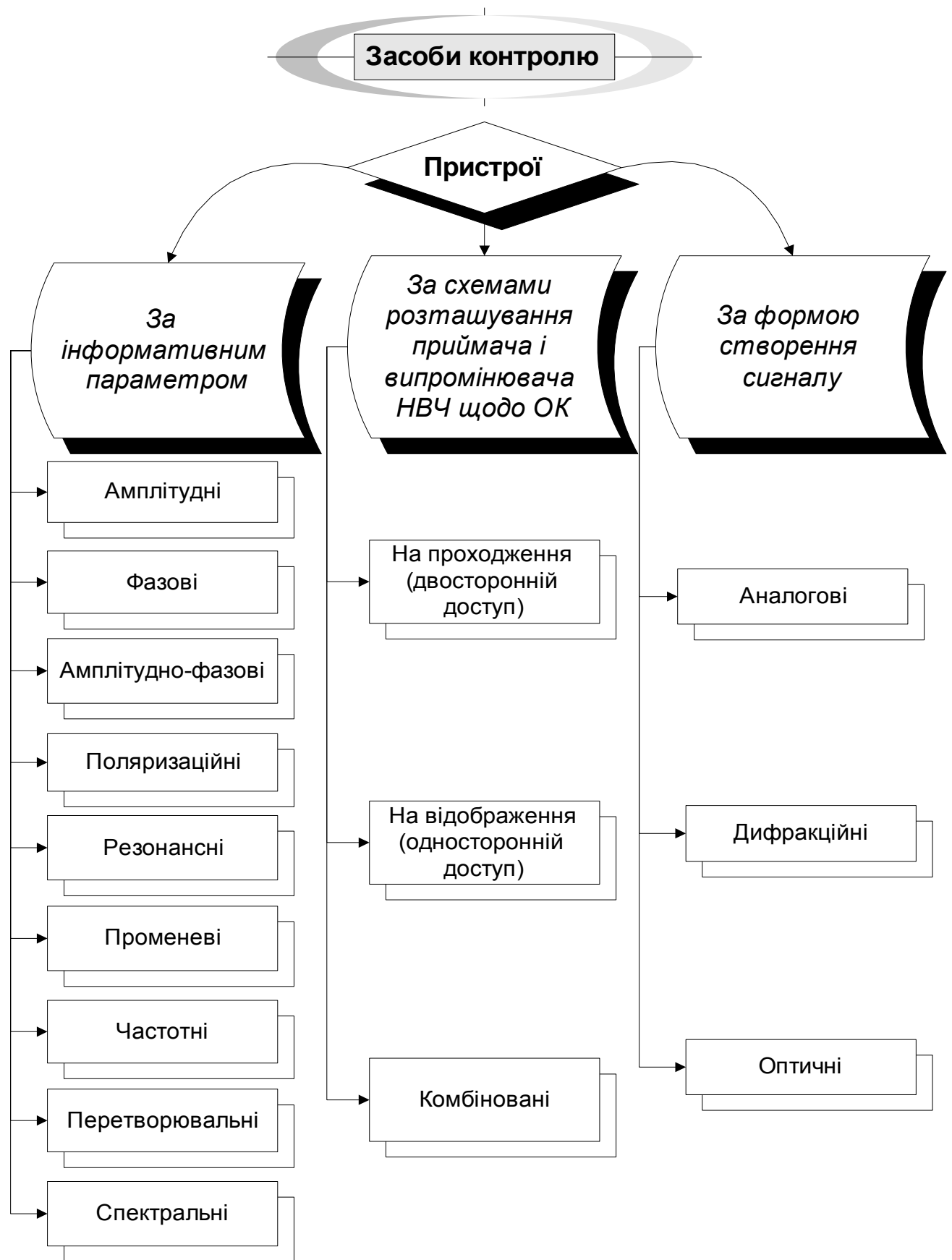
Радіохвильовий густиномір – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання концентрації або пористості радіопрозорих речовин, матеріалів і виробів з них

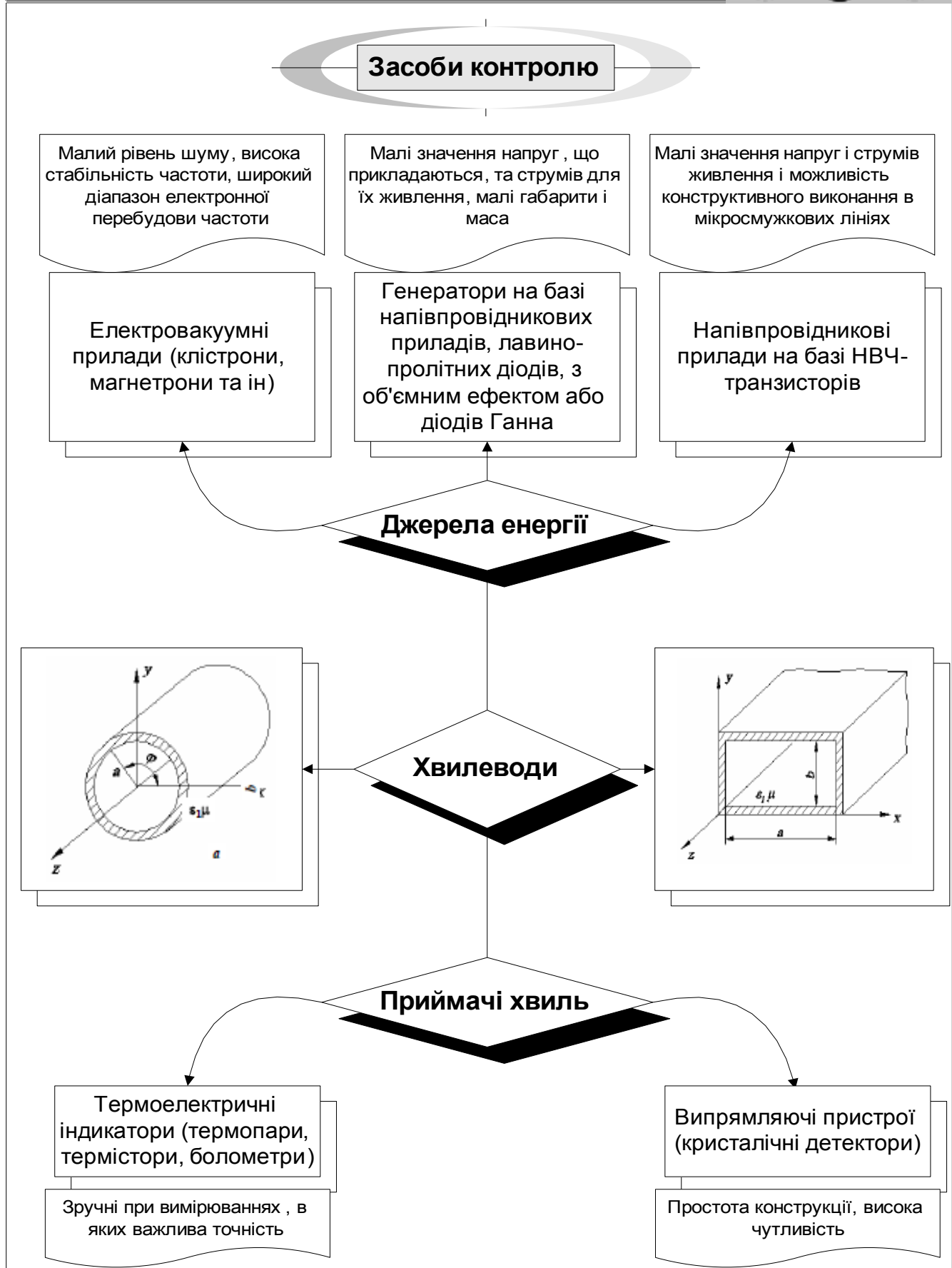
Радіохвильовий діелектромір – прилад радіохвильового неруйнівного контролю, призначений для вимірювання діелектричних характеристик речовин, матеріалів і виробів з них

Радіохвильовий перетворювач – частина приладу радіохвильового неруйнівного контролю, що служить для генерації, випромінювання і (або) прийому радіохвиль з подальшим перетворенням в електричний сигнал

Радіохвильовий перетворювач диференціального типу – радіохвильовий перетворювач, що додатково містить опорне плече і канал порівняння

Багатопараметровий радіохвильовий перетворювач – радіохвильовий перетворювач, що додатково містить пристрій, який забезпечує багатопараметровий контроль

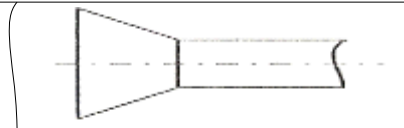




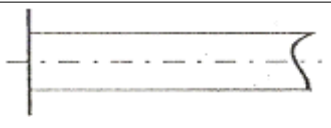


Випромінювальні та приймальні прилади

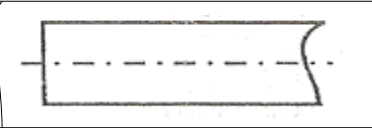
Рупор



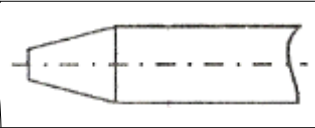
Фланець хвильоводу



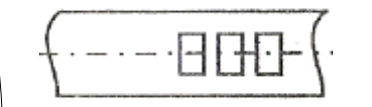
Зріз хвильоводу



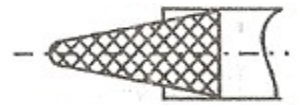
Кінець хвильоводу, що звужується



Щілини

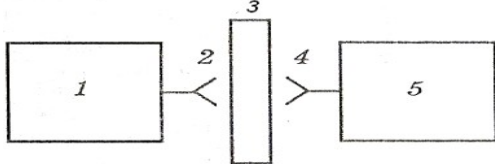


Діелектрична вставка

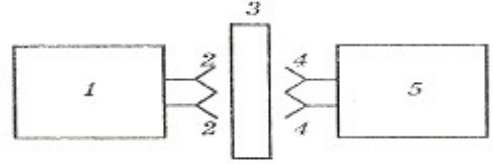


Схеми контролю

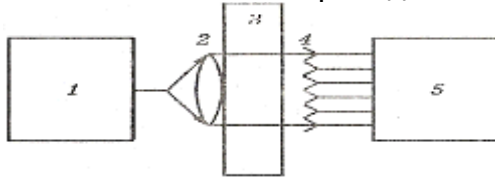
Одноканальна на проходження



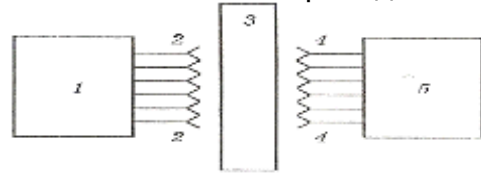
Двоканальна на проходження



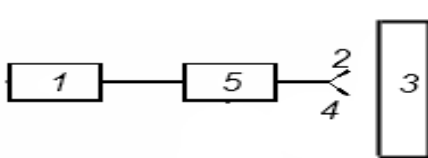
Багатоканальна на проходження



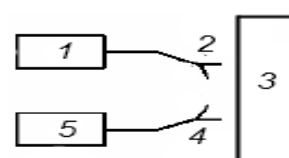
Багатоканальна на проходження



Одноканальна на відбиття

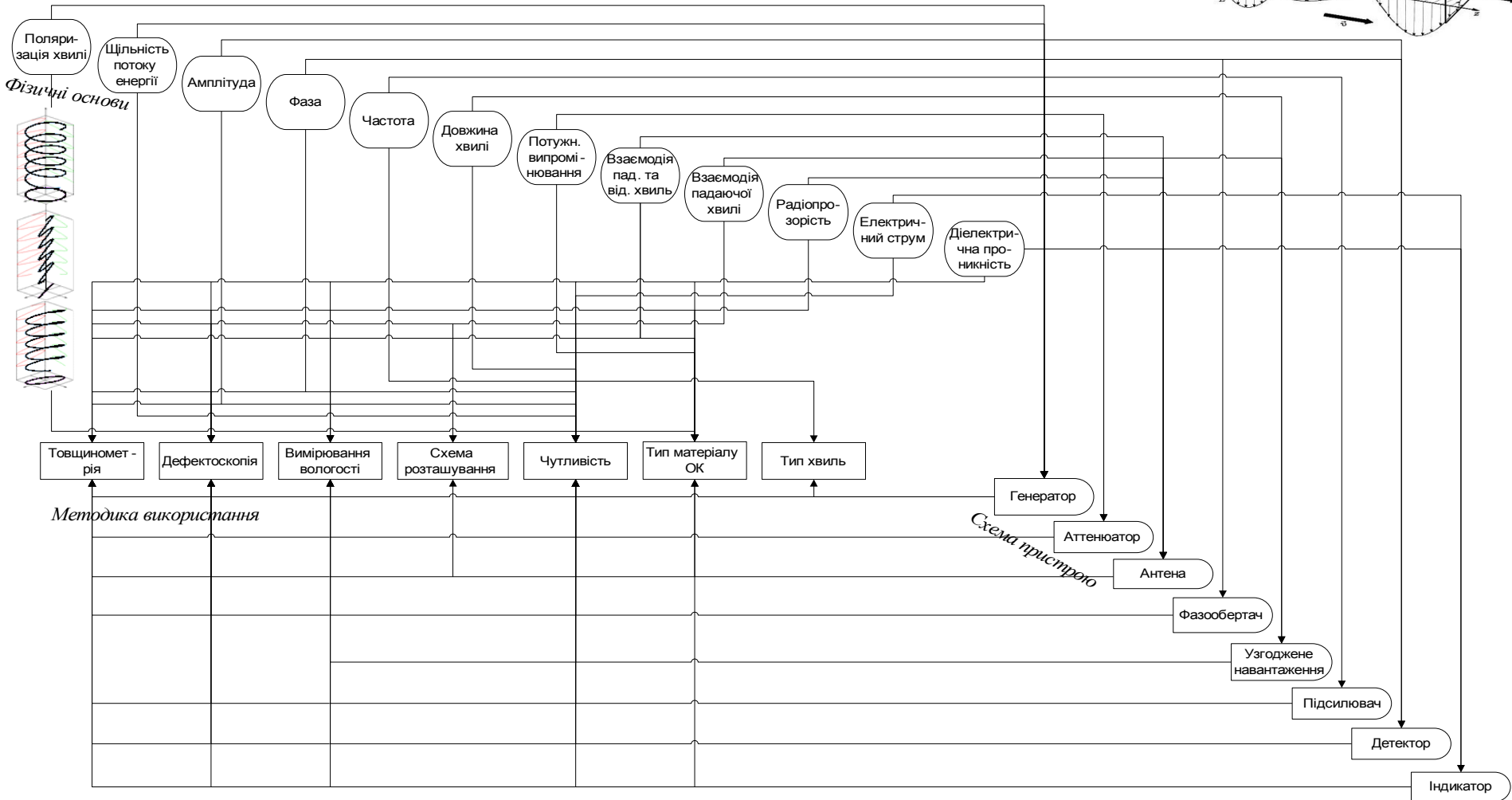
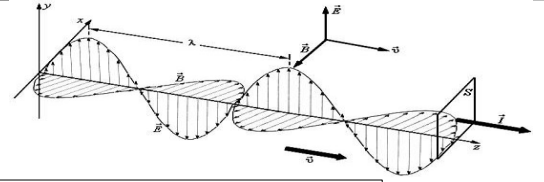


Двоканальна на відбиття



1 – НВЧ-генератор; 2 – випромінювальна система або антена; 3 – ОК; 4 – приймальна система чи антена; 5 – блоки зворотної обробки сигналів

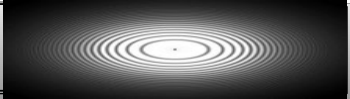
Амплітудно-фазовий метод





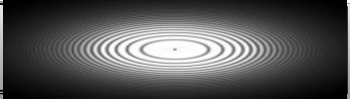
Питання з АФМ

1. Відомо, що до найважливіших фізичних параметрів радіохвильового неруйнівного контролю відносяться потік енергії S та поляризація електромагнітної хвилі. Щільність потоку енергії пропорційна квадрату амплітуди електричного поля. Це загальне і важливе положення, на якому фактично заснована можливість реєстрації електромагнітних хвиль різними приймачами, бо через інерційність приймачі енергії НВЧ реєструють середні значення квадрата амплітуди. А яким чином поляризація може впливати на результати контролю?
2. Амплітудно-фазовий метод заснований на аналізі амплітуди та фази відбитого (прохідного) випромінювання. Запропонуйте випадки, коли даний метод раціональніше використовувати за амплітудний чи фазовий методи.
3. Для передачі енергії джерела до приймача випромінювання використовують як хвилеводні лінії, так і вільний простір. Хвилеводні елементи, побудовані на основі хвилеводів, є базою для створення НВЧ-перетворювачів. Основними елементами є: погоджені навантаження (поглиначі потужності); атенюатори (зменшувачі потужності - хвилеводи з розташованими всередині них пластинами, на які напилують поглинаюче НВЧ покриття); фазообертачі (хвилеводні вузли, що забезпечують зміну фази); коаксіально-хвильові переходи; перетворювачі видів коливань; обертові зчленування; перемикачі; резонатори; діплексери; вентилі; циркулятори; модулятори; антени та ін. Запропонуйте прості схеми амплітудно-фазових приладів для товщинометрії, дефектоскопії і вимірювань вологості. Поясніть принцип роботи цих схем.
4. Взаємодія радіохвиль може носити характер взаємодії тільки падаючої хвилі (процеси поглинання, дифракції, відображення, заломлення) або взаємодії падаючої та відбитої хвиль (інтерференційні процеси). У яких процесах здійснюються ці взаємодії? У яких випадках взаємодії корисні, а в яких негативно впливають на чутливість методу?
5. При контролі об'єктів з різних металів і сплавів радіохвилі можуть використовуватися для вимірювання геометричних розмірів, бо від металевих структур радіохвилі повністю відображаються. Як при такому контролі необхідно розмістити вимірювальні перетворювачі?
6. Що спільного між радіохвильовим амплітудно-фазовим методом дефектоскопії та іншими методами, що вже розглядалися?
7. Установка для вимірювання вологості сипучих матеріалів заснована на послабленні сигналу. Чи можливі такі вимірювання без контакту з ОК?
8. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу радіохвильового НК.



Тепловий неруйнівний контроль (Thermal NDT) - неруйнівний контроль, заснований на реєстрації температурних полів об'єкта контролю





Фізичні основи

Теплопровідність – це перенесення теплоти структурними частинками речовини (молекулами, атомами, електронами) в процесі їх теплового руху. Такий теплообмін може відбуватися в будь-яких тілах з неоднорідним розподілом температур, але механізм переносу теплоти буде залежати від агрегатного стану речовини. Явище теплопровідності полягає в тому, що кінетична енергія атомів і молекул, яка визначає температуру тіла, передається іншому тілу при їх взаємодії або передається з більш нагрітих областей тіла до менш нагрітих областей.

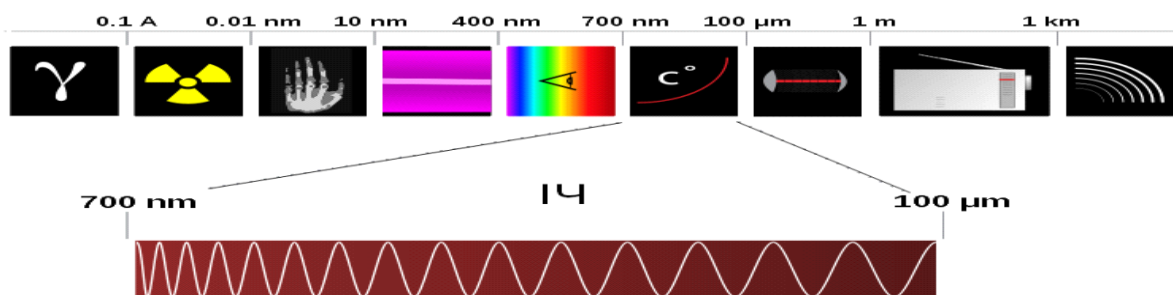
Конвекція - явище переносу тепла в рідинах або газах шляхом перемішування самої речовини (як вимушено, так і мимоволі).

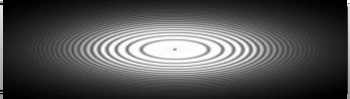
$$\alpha^2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \left(W_x \frac{\partial T}{\partial x} + W_y \frac{\partial T}{\partial y} + W_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{q}{c\rho} = 0,$$

Процес переносу тепла в середовищі

де α – коефіцієнт температуропровідності, що характеризує швидкість розповсюдження температури в просторі ($\alpha = \lambda / c \cdot \rho$), $\text{м}^2/\text{с}$; c – теплоємність речовини, рівна кількості теплової енергії, необхідної для нагрівання на 1 К одиниці маси речовини, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; λ – коефіцієнт теплопровідності, що показує здатність тіла передавати теплоту, $\text{Вт}/\text{м}^2$; ρ – густина речовини, $\text{кг}/\text{м}^3$; q – густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$; T – поле температур в ОК, що залежить від часу t та координат (x, y, z) ; W – складники швидкості за координатами (x, y, z) .

Теплове випромінювання – передача теплоти шляхом періодичного випускання електромагнітних хвиль. Інфрачервоне випромінювання – електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між червоним кінцем видимого світла (з довжиною хвилі $\lambda = 0,74 \text{ мкм}$) і мікрохвильовим випромінюванням ($\lambda \sim 1\text{-}2 \text{ мм}$)





Фізичні основи

Прозорість середовища – відношення величини потоку випромінювання, що пройшов через шар середовища одиначної товщини до величини падаючого потоку (без урахування ефектів розсіювання та впливу ефектів на поверхнях розділу)

Абсолютно чорне тіло (АЧТ) – фізична ідеалізація, що вживається у термодинаміці, – тіло, що поглинає все електромагнітне випромінювання, що падає на нього, у всіх діапазонах і нічого не відображає. Незважаючи на назву, абсолютно чорне тіло може випускати теплове випромінювання і візуально мати колір. Спектр випромінювання абсолютно чорного тіла визначається тільки його температурою

Закон Стефана – Больцмана:

$$\text{для АЧТ: } j = \sigma T^4$$

$$\text{для нечорних тіл: } j = \epsilon \sigma T^4,$$

де j – потужність на одиницю площі випромінюючої поверхні ;

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = \frac{\pi^2 k^4}{60\hbar^3 c^2} \simeq 5,670400(40) \cdot 10^{-8} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4} - \text{ стала Стефана – Больцмана,}$$

K – температура тіла, K ; ϵ – ступінь чорноти.

Довжина хвилі, при якій енергія випромінювання АЧТ максимальна, визначається законом зміщення Віна :

$$\lambda_{\max} = \frac{0,0028999}{T}, \text{ де } T - \text{ температура в кельвінах; } \lambda_{\max} - \text{ довжина хвилі з максимальною інтенсивністю у метрах}$$

Вираз для спектральної щільності потужності випромінювання АЧТ (формула Планка):

$$u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

\hbar – стала Планка, $1.054 \cdot 10^{-27}$ ерг*с; ω – частота випромінювання

Закон Бугера - Ламберта - Бера – фізичний закон, що визначає ослаблення паралельного монохроматичного пучка світла при поширенні його в поглинаючому середовищі

$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l}$, де I - інтенсивність вхідного пучка, l – товщина шару речовини, через яке проходить світло, k_λ – показник поглинання (часто неправильно називається коефіцієнтом поглинання)

Фізичні основи

Матеріал

Теплопровідність

Чисті метали (тверді)

від 7,5 до 400 Вт / м*К

Чисті метали (рідкі)

від 7,5 до 110 Вт / м*К

Сплави (тверді)

від 13 до 200 Вт / м*К

Кристалічні речовини

від 0,7 до 60 Вт / м*К

Порошки

від 0,1 до 50 Вт / м*К

Вогнетривкі матеріали

від 0,02 до 0,1 Вт / м*К

Аморфні ізоляційні матеріали

від 0,02 до 0,1 Вт / м*К

Рідини

від 0,01 до 0,6 Вт / м*К

Водні розчини

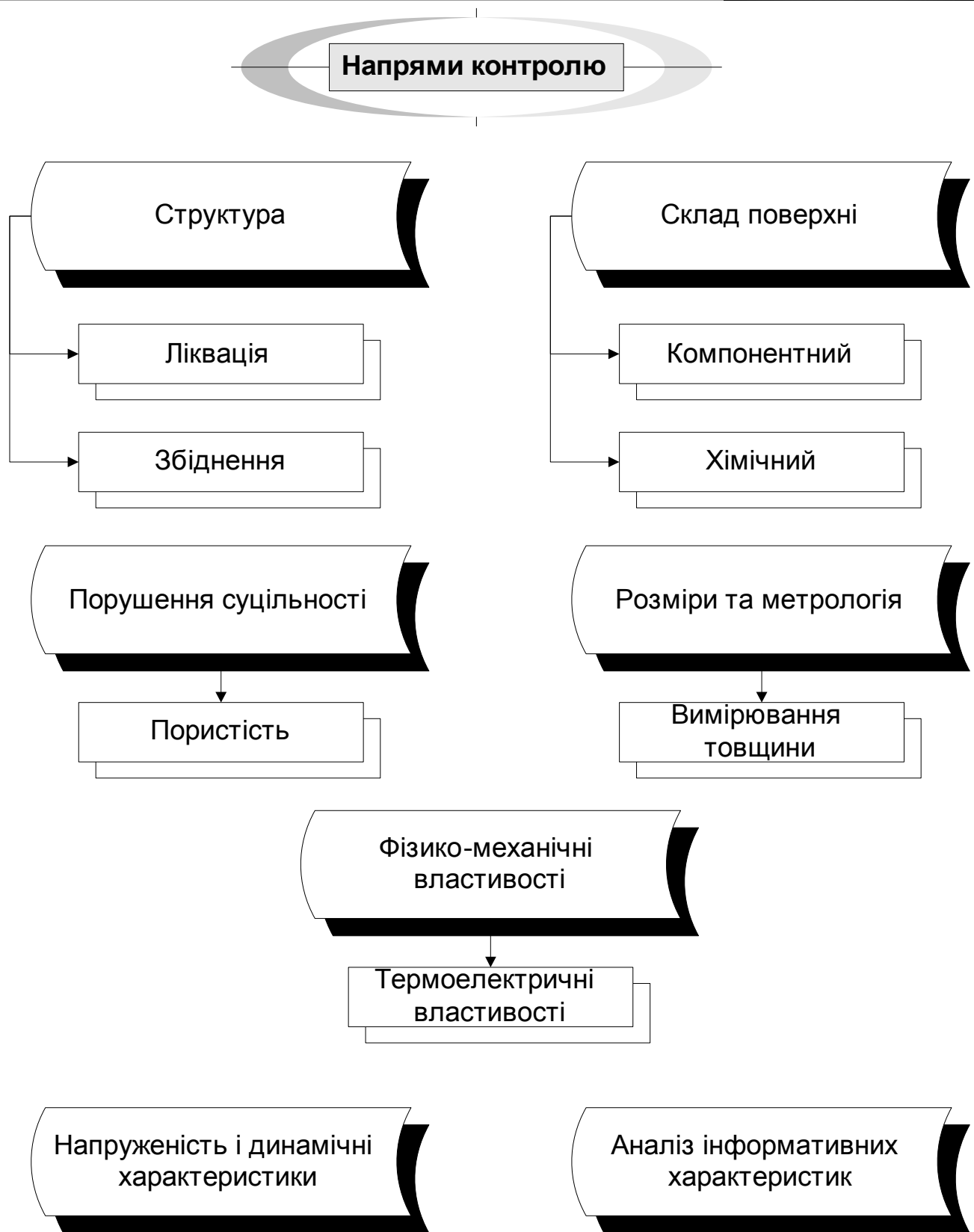
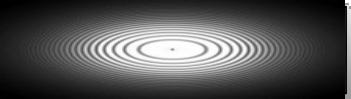
від 0,1 до 0,75 Вт / м*К

Масла

від 0,08 до 0,2 Вт / м*К

Гази і пари

від 0,005 до 0,2 Вт / м*К



Засоби контролю

Манометричний
термометр



Рідинний
термометр



Термометр
опору



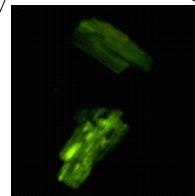
Термоелектричний
термометр



Волоконно-
оптичний
термометр



Люмінофорний
індикатор

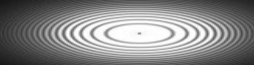


Рідкокристалічний індикатор – термоіндикатор, що представляє собою органічне з'єднання, що одночасно володіє властивостями рідини і твердого кристалічного тіла

Термохромний індикатор – термоіндикатор з хімічною взаємодією компонентів

Плавкий індикатор (плавке покриття) – термоіндикатор, виготовлений на основі плавких матеріалів (віск, сполуки сірки і т.д.)

Плавкий індикатор (термосвідок) – термоіндикатор, що представляє собою нанизані на тугоплавкий дріт пластини з металів, що плавляться при різних температурах



Засоби контролю

Рідкокристалічний індикатор – термоіндикатор, що представляє собою органічне з'єднання, який одночасно володіє властивостями рідини і твердого кристалічного тіла

Ізооптичний індикатор – термоіндикатор, принцип дії якого заснований на ефекті Хрїстіансена, що полягає в розсіянні світла сумішшю двох прозорих середовищ, якщо показники компонентів різні

Термохромний індикатор – термоіндикатор з хімічною взаємодією компонентів

Яскравісний пірометр



Кольоровий пірометр – пристрій, що дозволяє робити висновок про температуру ОК, ґрунтуючись на результатах порівняння його теплового випромінювання в різних спектрах

Радіаційний пірометр – пристрій, що оцінює температуру за допомогою переліченого показника потужності теплового випромінювання

Тепловізор стаціонарний – пристрій для спостереження за розподілом температури досліджуваної поверхні, призначений для застосування на промислових підприємствах

Тепловізор переносний

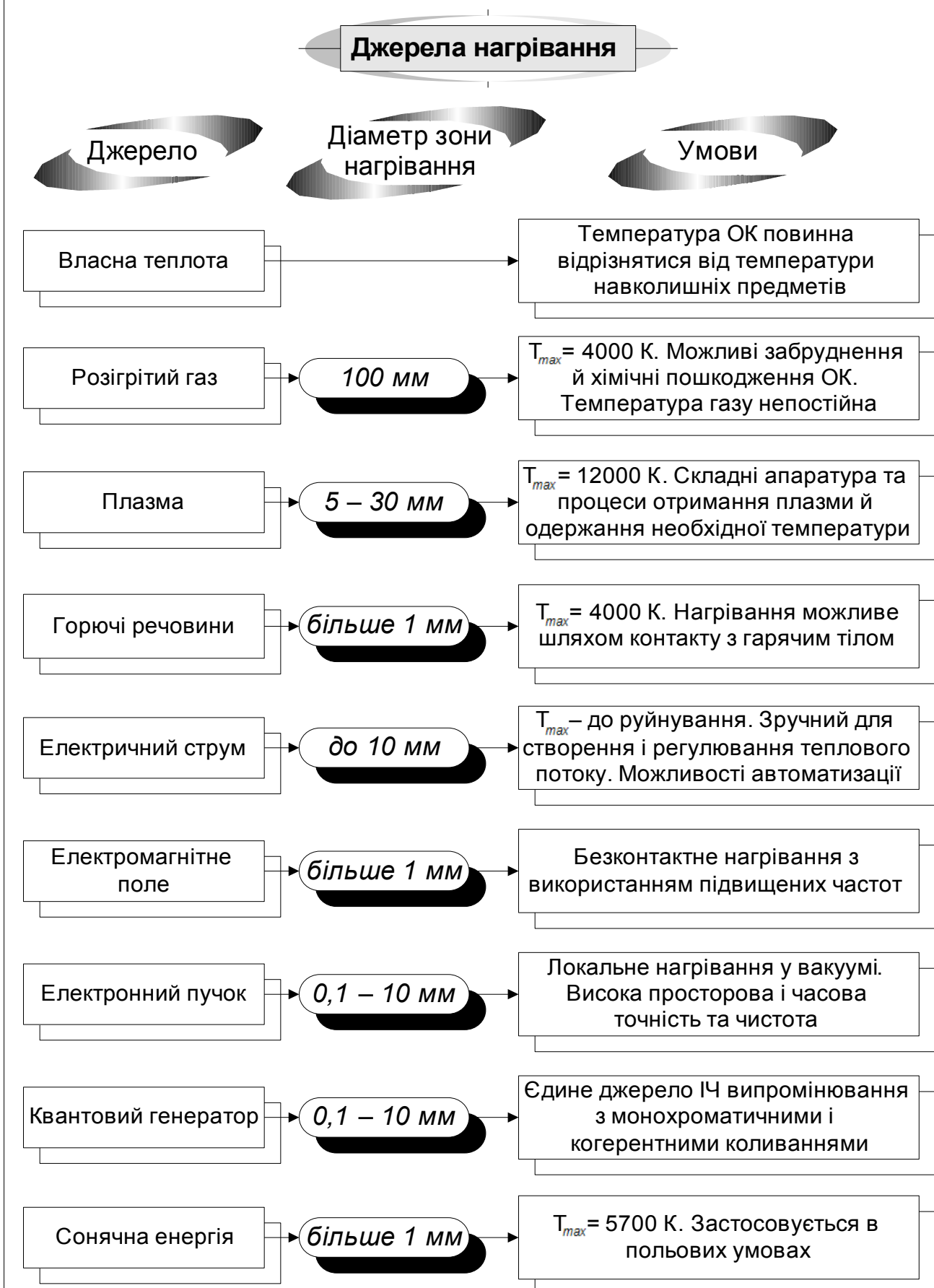
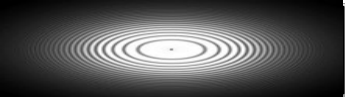


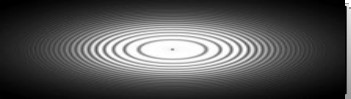
Термопары

Матеріал термоелектродів

Робочі температури °C

| | | |
|--|--|-------------------|
| Fe | 45% Cu + 45% Ni, Mn, Fe | від -200 до +750 |
| 90,5% Ni + 9,5% Cr | 94,5% Ni + 5,5% Al, Si, Mn, Co | від -200 до +1200 |
| Cu | 55% Cu + 45% Ni, Mn, Fe | від -200 до +350 |
| 90,5% Ni + 9,5% Cr | 55% Cu + 45% Ni, Mn, Fe | від -200 до +700 |
| 90,5% Ni + 9,5% Cr | 56% Cu + 44% Ni | від -200 до +600 |
| 83,49% Ni + 13,7% Cr + 1,2% Si + 0,15% Fe + 0,05% C + 0,01% Mg | 94,98% Ni + 0,02% Cr + 4,2% Si + 0,15% Fe + 0,05% C + 0,05% Mg | від -270 до +1300 |
| 87%Pt + 13%Rh | Pt | від 0 до +130 |
| 87%Pt + 13%Rh | Pt | від 0 до +1300 |
| 70% Pt - 30% Rh | 94% Pt-6% Rh | від 600 до +1700 |
| 95% W - 5% Re | 80% W-20% Re | від 0 до +2200 |
| Сплав силъд | Сплав силін | від 0 до +800 |





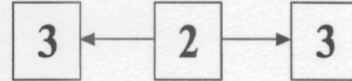
Схеми контролю

Пасивний контроль

Односторонній

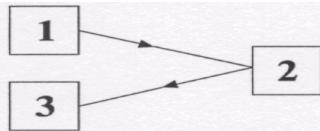


Двосторонній



Активний контроль

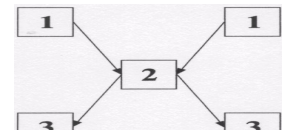
Односторонній



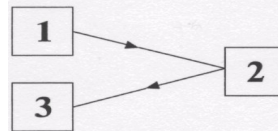
Двосторонній



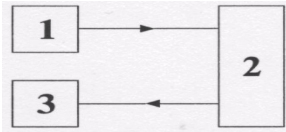
Комбінований



Синхронний



Несинхронний



1 – джерело нагрівання; 2 – ОК; 3 – термочутливий елемент

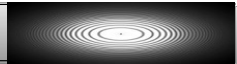
Галузі застосування

Активний контроль

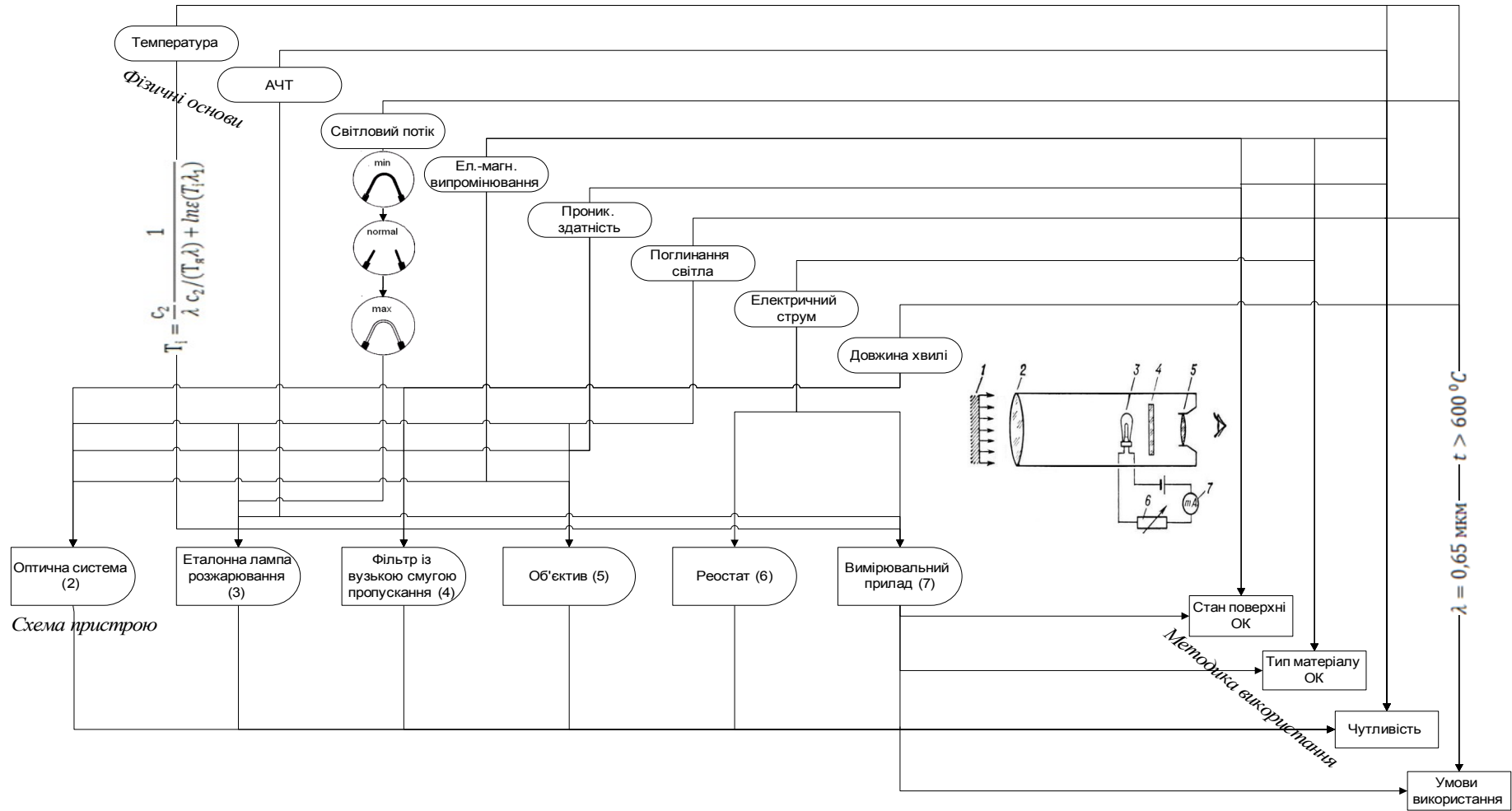
| | |
|----------------------------|--|
| Авіакосмічна індустрія | Інфрачервоне вимірювання вологості ; дефекти структури композитів , готових панелей , клейових з'єднань , захисних покриттів |
| Мікроелектроніка | Лазерний контроль пайки , зварювання ; інфрачервона томографія напівпровідників , ВІС, дефекти тепловідводів |
| Машинобудування | Дефектоскопія антикорозійних покриттів , виявлення місць підповерхневого розшарування ; композитних структур |
| Лазерна техніка | Контроль термонапружень в лазерних кристалах , ТФК квантронів , світлової міцності елементів силової оптики |
| Матеріалознавство | Теплова діагностика напруженого стану об'єктів на основі термоеластичного ефекту , контроль ТФК конструкційних матеріалів |
| Будівництво | Контроль теплопровідності будівельних матеріалів , захисних огорожень , виявлення порожнеч , вимойн і т.д. |
| Нафтохімія | Термографічний контроль рівня рідин в резервуарах |
| Атомна енергетика | Теплова дефектоскопія ТВЕЛ , аналіз пористості матеріалів , контроль напруженого стану металу |
| Автомобільна промисловість | Теплова дефектоскопія шин , покриттів , зміцнюючих покриттів , якості гарту і термозміцнення |
| Енергетика | Тепловізійний контроль статорів , захисних покриттів , термоізоляції |
| Агрокомплекс | Контроль ТФК продуктів , дефектоскопія деталей с/г техніки |

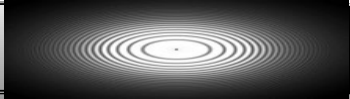
Пасивний контроль

| | |
|----------------------------|--|
| Енергетика | Теплова діагностика турбін , димарів , енергоагрегатів , контактних мереж , теплоізоляції |
| Нафтохімія | Тепловізійний контроль реакторних колон і енергоагрегатів , виявлення витоків з продуктопроводів |
| Машинобудування | Контроль теплових режимів машин , механізмів , виявлення аварійно - та пожежонебезпечних місць на енергонасичених промислових об'єктах |
| Будівництво | Виявлення витоків тепла в будинках , тепловізійний контроль якості покрівлі , огорожувальних конструкцій |
| Екологічний моніторинг | Дистанційний контроль витоків тепла , забруднень на водних поверхнях , виявлення теплових аномалій , виявлення порожнеч , вимойн і т. д. |
| Металургія | Пірометричний контроль температури розплавів , тепловізійна діагностика футеровки , контроль гарячого прокату |
| Транспорт | Виявлення перегріву букс , дефектів контактних мереж , ізоляторів , теплова діагностика електрообладнання рухомого складу |
| Авіація | Світлова пірометрія лопаток ТТД , аеродинамічний експеримент , контроль теплового режиму бортових РЕА |
| Цементна промисловість | Контроль рівномірності нагрівання печей , їх режимів |
| Агрокомплекс | Контроль теплових режимів теплиць і ферм , стану тварин , температури зерна в елеваторах |
| Електроніка | Теплова діагностика РЕА , ВІС, температурний контроль технологічних процесів |
| Лазерна техніка | Аналіз теплових режимів активних елементів потужних лазерів |
| Термоядерна енергетика | Теплова діагностика плазми , інфрачервона томографія |
| Медицина, охорона здоров'я | Гермодіагностика судинних захворювань , онкології , шкірних хвороб та ін. |



Метод яскравісної пірометрії





Питання з МЯП

1. З літературних джерел відомо, що яскравісні пірометри дозволяють візуально визначати, як правило, без використання спеціальних пристроїв, температуру нагрітого тіла шляхом порівняння його кольору з кольором еталонної нитки. Принцип дії пірометра зі зникаючою ниткою заснований на порівнянні монохроматичної яскравості випромінювання напруженого тіла з монохроматичною яскравістю випромінювання нитки спеціальної пірометричної лампи розжарювання. Поясніть детально роботу яскравісного пірометра, що представлений на каузальній мережі.
2. Окрім яскравісного методу використовують радіаційний та кольоровий методи пірометрії (див. розділ „Засоби контролю”). Користуючись представленою інформацією, запропонуйте сфери застосування трьох методів.
3. Яким чином закони для АЧТ допомагають визначити температуру ОК ?
4. Яскравісні пірометри використовують для вимірювань високих температур (більші за 600 °С), Червоний фільтр дозволяє виділяти необхідну вузьку спектральну область близько довжини хвилі $\lambda = 0,65$ мкм. З чим пов'язані такі обмеження?
5. Температура нитки не повинна перевищувати 1500 °С. Як запобігти перегріву при вимірюваннях на більш високих температурах ?
6. На початку світіння нитки лампи струм складає приблизно 50% струму при напруженні нитки, що відповідає температурі верхньої межі вимірювання, в той час як напруга на затискачах лампи досягає приблизно 25% напруги, відповідної тій же самій температурі. Що вигідніше вимірювати напругу на затискачах лампи або струм? Чому?
7. Як відомо, збільшення шорсткості тіла приводить до зростання коефіцієнта випромінювання ϵ . Яким чином враховувати похибку пов'язану з даним явищем ?
8. Оптична щільність поглинаючого скла залежить від його температури. Яким чином запобігти цій похибці?
9. При вимірюванні температури тіла, освітленого стороннім джерелом, яскравісна температура цього тіла T_j , що показують пірометри, не відповідає дійсній яскравісній температурі тіла, тому що до власної його яскравості, обумовленої випромінюванням цього тіла, додається яскравість відображена тілом. Яким чином запобігти цим похибкам?
10. Як впливає прозорість середовища на результати вимірювань ?
11. Запропонуйте схеми підвищення ефективності пірометра зі зникаючою ниткою.
12. Запропонуйте схеми автоматизації пірометра зі зникаючою ниткою.
13. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу теплового НК.



Оптичний неруйнівний контроль (Optical nondestructive testing) – неруйнівний контроль, заснований на аналізі взаємодії оптичного випромінювання з об'єктом контролю





Фізичні основи

Оптичне випромінювання – електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 100 до 10000 нм. Залежно від довжини хвилі оптичне випромінювання ділиться на ультрафіолетове, видиме і інфрачервоне. Виникнення оптичного випромінювання пов'язано з рухом електрично заряджених частинок (електрони, атоми, іони, молекули). Дискретні спонтанні та індуковані переходи носіїв зарядів з більш високих на більш низькі рівні енергії супроводжуються випусканням світлових квантів (фотонів) з енергією, рівною різниці цих рівнів

Фотон – елементарна частинка, квант електромагнітного випромінювання (у вузькому сенсі – світла). Це безмасова частинка, здатна існувати тільки рухаючись зі швидкістю світла. Заряд фотона також дорівнює нулю

$E = \hbar\omega = h\nu; E = cp$ – енергія фотона;

$p = \hbar k = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$ – імпульс фотона,

де \hbar – стала Планка, рівна $h/2\pi$. $h = 6,626\ 068\ 96(33) \times 10^{-34}$ Дж·с
 ν – частота; $\omega = 2\pi\nu$ – кутова частота; \vec{k} – хвильвий вектор,
 $k = 2\pi/\lambda$ – його величина (хвильове число); c – швидкість світла (швидкість, з якою в будь-який момент часу рухається фотон як безмасова частка); λ – довжина хвилі

В реальних середовищах оптичне випромінювання поширюється зі швидкістю $v = \lambda\nu$

Енергетичний потік оптичного випромінювання – потужність випромінювання, тобто енергія, що випускається з поверхні за 1 секунду

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt}, \text{ Вт}$$

$$\Phi_e = \frac{Q}{T}, \text{ середній енергетичний потік}$$

Q – енергія, випромінена за час T



Фізичні основи

Енергетична сила випромінювання, I_e – одна з енергетичних фотометричних величин, що характеризує випромінювання джерела в деякому напрямку. Дорівнює відношенню потоку випромінювання, що розповсюджується від джерела випромінювання всередині малого тілесного кута, до цього тілесного кута

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega},$$

Вт/ср

Променистість – фізична величина, що характеризує енергетичні параметри оптичного випромінювання; дорівнює відношенню потоку випромінювання в деякий тілесний кут в розглянутому напрямку до тілесного кута і до площі проекції випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну цьому напрямку

$$L = dI_e / dS \cos\alpha$$

Вт/(ср * м²)

Контраст – різниця в характеристиках різних ділянок зображення

$K = (V_o - V_f) / (V_o + V_f)$ – контраст дефекту, де V_o та V_f – яскравості об'єкта в областях дефекту і фону

Поглинання електромагнітного випромінювання – це процес поглинання одного або декількох фотонів іншою часткою, в результаті чого енергія фотонів переходить в енергію цієї частки

Відображення – фізичний процес взаємодії хвиль або часток з поверхнею, зміна напрямку хвильового фронту на кордоні двох середовищ з різними оптичними властивостями, в якому хвильовий фронт повертається в серед овище, з якого він прийшов

Когерентність – зкорельованість (узгодженість) кількох коливальних або хвильових процесів у часі, що виявляється при їх складанні

Дифракція – явище, що виникає при поширенні хвиль (наприклад, світлових і звукових хвиль). Суть цього явища полягає в тому, що хвиля здатна огинати перешкоди. Це зумовлює те, що хвильовий рух спостерігається в області за перешкодою, куди хвиля не може потрапити прямо

Інтерференція – накладання хвиль, при якому в різних точках спостерігається посилення (конструктивна інтерференція) або послаблення (деструктивна інтерференція) амплітуди коливань



Фізичні основи

Заломлення (рефракція) – зміна напрямку розповсюдження хвиль електромагнітного випромінювання, що виникає на межі поділу двох прозорих для цих хвиль середовищ або в товщі середовища з властивостями, що безперервно змінюються

Дисперсія світла (розкладання світла) – явище залежності абсолютного показника заломлення речовини від довжини хвилі (або частоти) світла (частотна дисперсія), або, що те ж саме, залежність фазової швидкості світла в речовині від довжини хвилі (або частоти)

Розсіяння світла – розсіювання електромагнітних хвиль видимого діапазону при їх взаємодії з речовиною. При цьому відбувається зміна просторового розподілу, частоти, поляризації оптичного випромінювання, хоча часто під розсіюванням розуміється тільки перетворення кутового розподілу світлового потоку

Властивості зору

Роздільна здатність – здатність розрізняти дрібні деталі зображення (залежить від яскравості, контрасту, кольоровості й часу спостереження). Максимальна при білому та жовто-зеленому світлі при яскравості $10 \dots 100 \text{ кд/м}^2$, високому контрасті об'єкту ($|k| \geq 0,5$), і часі спостереження $5 \dots 20 \text{ с}$.

Кутова роздільна здатність – мінімальний кут між деталями зображення, дорівнює $1'$ при відстані до об'єкту $l=250\text{мм}$ та дотриманні вищевказаних умов.

Частотно-контрастна характеристика – кутовий розмір об'єкту, що сприймається, має максимум при кутовому розмірі об'єкту $\alpha \approx 1^\circ$, і спад в областях як низьких, так і високих просторових частот.

Контрастна чутливість – мінімальна здатність виявити різниці яскравостей.

Стереоскопічна роздільна здатність – здатність розрізняти роздільно за глибиною деталі об'єкту.

Поле зору – кутовий простір, видимий оком при фіксованому погляді і нерухомій голові, складає приблизно 55° вгору, 60° вниз, 90° назовні та 60° всередину.

Інерція зору – час перемикання зору з одного об'єкта на інший.

Якість зображення дефекту – характеристика, що визначає виявлення дефекту, $V = k/k_{\min}$



Освітлення ОК

Світловий перетин – освітлення ОК плоским пучком світла для отримання зображення його рельєфу

Поле

Темне – освітлення ОК, при якому яскравість його дефектів більша за яскравість поверхні, на якій вони розташовані

Світле – освітлення ОК, при якому яскравість його дефектів менша за яскравість поверхні, на якій вони розташовані

Стробоскопічне – опромінення ОК модульованим оптичним випромінюванням, частота і фаза якого синхронізовані з рухом ОК

Монохроматичне – опромінення ОК випромінюванням однієї певної і постійної частоти (довжини хвилі)

Скануюче – опромінення ОК оптичним випромінюванням з застосуванням сканування

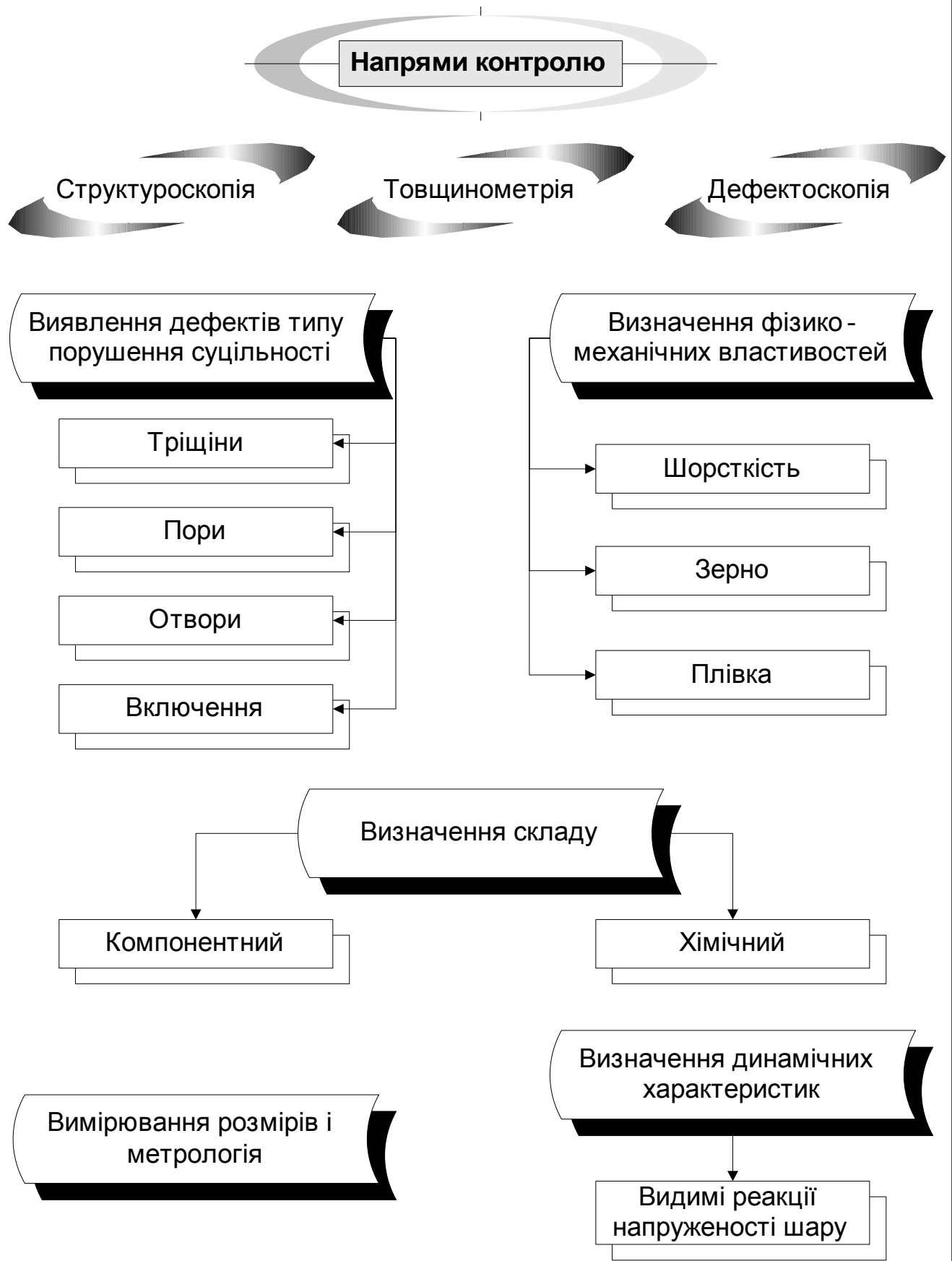
Опромінення

Когерентне – опромінення ОК когерентним випромінюванням

Поліхроматичне – опромінення ОК поліхроматичним оптичним випромінюванням

Телецентричне – опромінення ОК паралельним пучком оптичного випромінювання

Стигматичне – опромінення ОК точковим джерелом оптичного випромінювання





Засоби контролю

Мікроскоп



Електронно-оптичний дефектоскоп



Відеомікроскоп



Візуальний дефектоскоп

NetTest (Anritsu) VFL 650

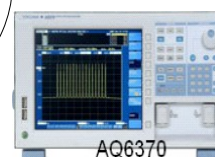


Рефлектометр

CMA-4000



Аналізатор оптичного спектру



AQ6370

Інтерферометр



Ендоскоп



Лазерний тахометр

PCE-DT-62



Вимірювач потужності

NetTest (Anritsu) CMA 5



Рефрактометр



Нефелометр





Схема пристроїв





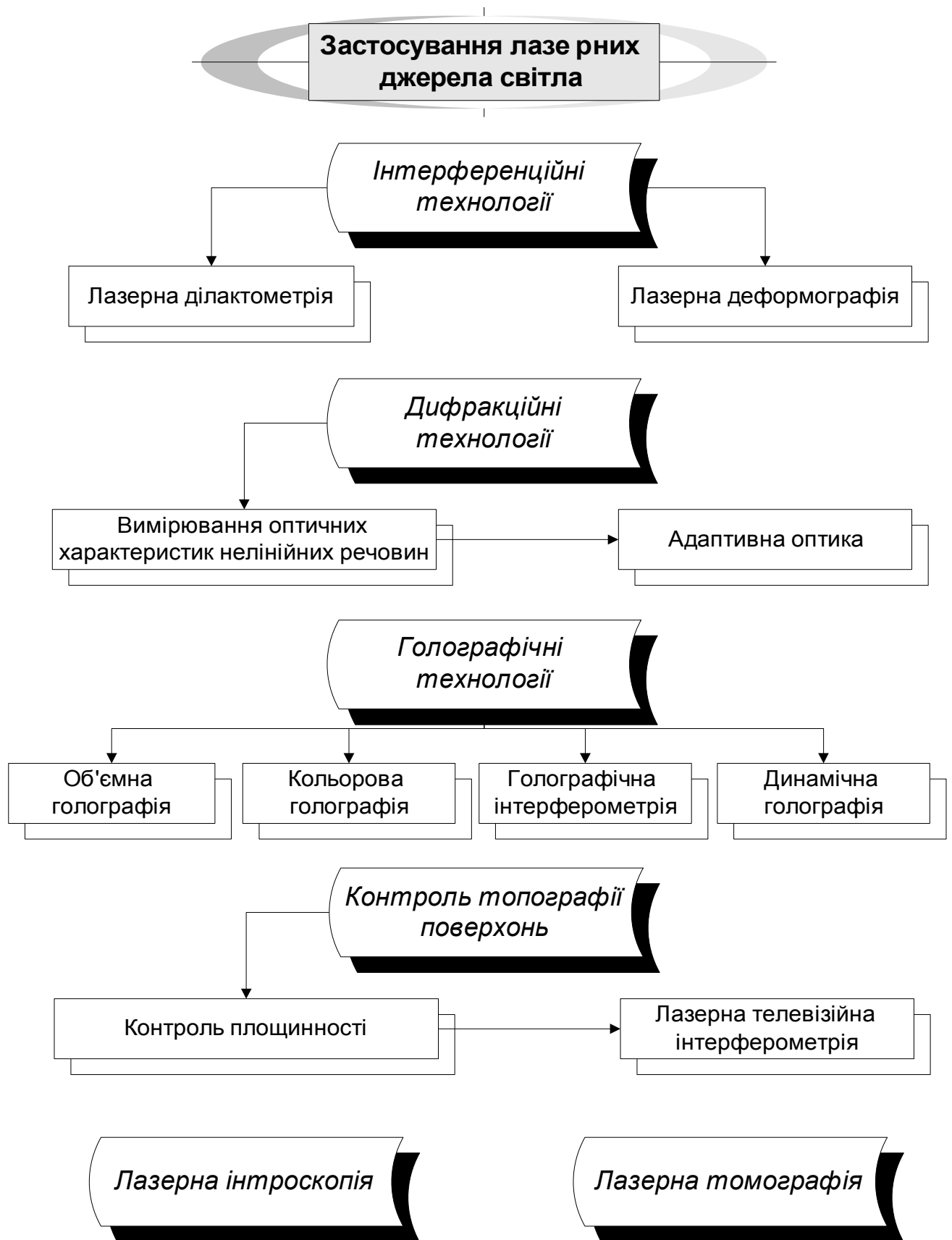
Галузі застосування





Галузі застосування

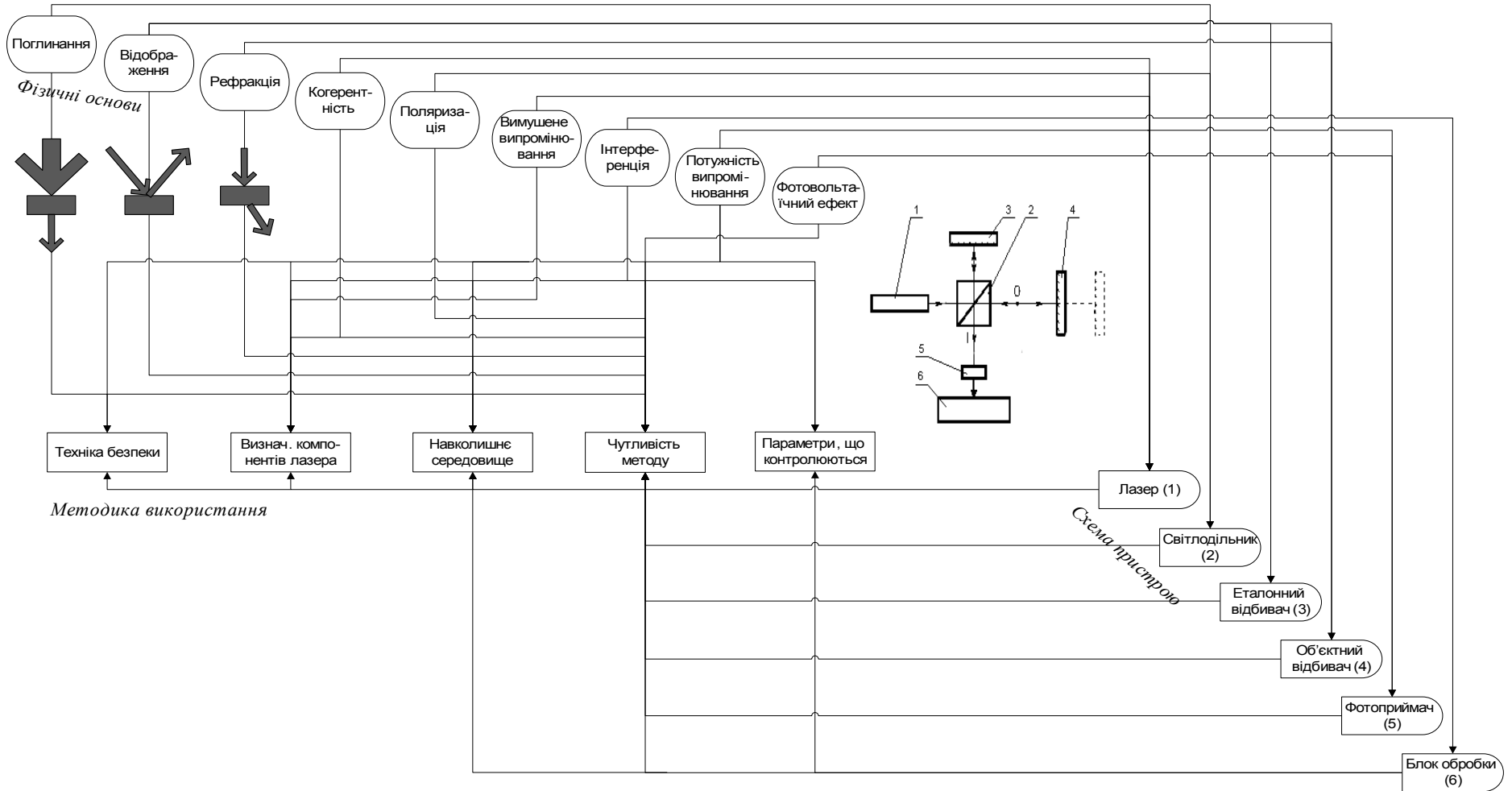








Метод лазерної інтерферометрії



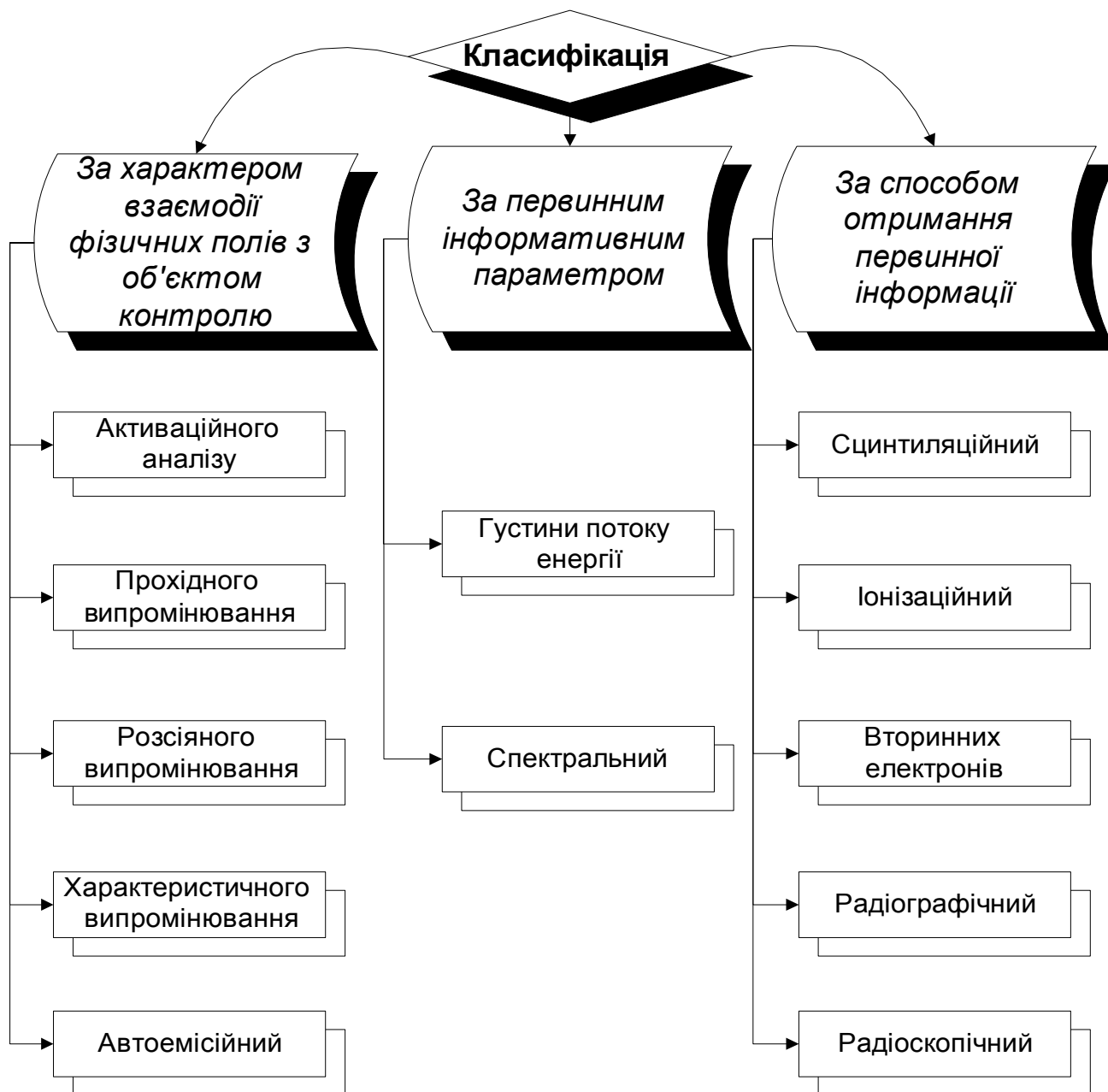


Питання з МЛІ

- 1. Лазерні вимірвальні інтерферометри зазвичай будуються за двопроменевою схемою Майкльсона (див. каузальну мережу), що включає лазер, світлороздільне дзеркало і два відбивача, один з яких нерухомий, а інший жорстко пов'язаний з виробом. Відбившись від еталонного і об'єктного дзеркал, пучки світла з'єднуються і інтерферують. Прилади зазвичай застосовуються для вимірювання відстаней і лінійних переміщень. На виході приладу за допомогою фотометричного лічильника підраховується число смуг інтерференції, пропорційне переміщенню виробу. Запропонуйте схеми лазерних інтерферометрів для контролю інших параметрів (наприклад, для контролю площинності виробів).*
- 2. Фізичною основою роботи лазера служить явище вимушеного (індукованого) випромінювання. Суть явища полягає в тому, що збуджений атом здатний випромінювати фотон під дією іншого фотона без його поглинання, якщо енергія останнього дорівнює різниці енергій рівнів атома до і після випромінювання. Всі лазери складаються з трьох основних частин: активного (робочого) середовища; системи накачування (джерело енергії); оптичного резонатора. В якості робочого середовища лазера використовуються всі агрегатні стани речовини: тверде, рідке, газоподібне і плазма. Запропонуйте конкретні приклади проведення лазерних вимірювань по кожному робочому середовищу.*
- 3. Першоджерелом генерації є процес спонтанного випромінювання, тому для забезпечення спадкоємності поколінь фотонів необхідне існування позитивного зворотного зв'язку, за рахунок якого випромінювання фотона викликають наступні акти індукованого випромінювання. Для цього активне середовище лазера поміщається в оптичний резонатор. Що слугує оптичним резонатором в представленому методі?*
- 4. Користуючись знаннями про лазери, припустіть можливий негативний вплив лазерів на здоров'я людини та запропонуйте методи запобігання такому впливу.*
- 5. Головний недолік лазерних інтерферометрів – висока чутливість до механічного впливу (особливо дзеркал), що обумовило їх використання в основному на прецизійному приладобудуванні. Якими діями можна зменшити похибки вимірювань, пов'язані з подібними факторами?*
- 6. Встановлено, що ще одна похибка пов'язана з неоднорідністю та нестабільністю повітряного простору. Як враховувати це в процесі конструювання та використання лазерних інтерферометрів?*
- 7. За рахунок яких факторів лазерна техніка виходить на лідируючі позиції в оптичних методах контролю?*
- 8. Запропонуйте удосконалення системи Майкльсона.*
- 9. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу оптичного НК.*



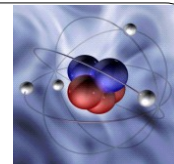
Радіаційний неруйнівний контроль (*Radiation nondestructive testing*) - вид НК, що ґрунтується на реєстрації і аналізі іонізуючого випромінювання після взаємодії з об'єктом контролю





Фізичні основи

Нуклід – вид атомів з даними числами протонів і нейтронів у ядрі. Нукліди з однаковою кількістю протонів називають ізотопами



Корпускулярне випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається з частинок масою, відмінною від нуля

Радіоактивність – здатність ядер деяких нуклідів (радіонуклідів) мимовільно розпадатися з випусканням α , β і γ -випромінювань або шляхом ділення

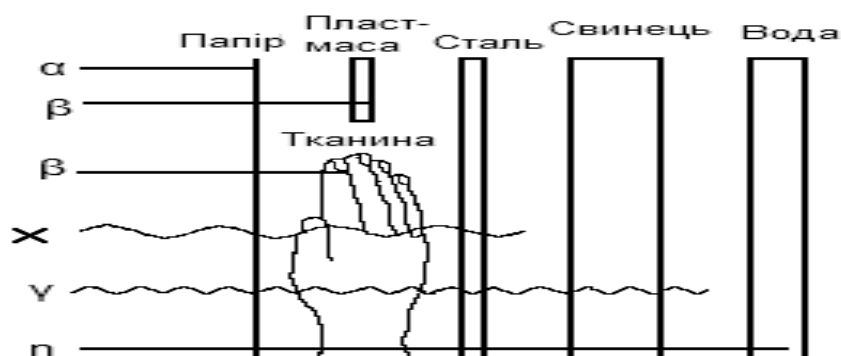
Альфа-випромінювання – корпускулярне випромінювання, що складається з альфа-частинок, які випускаються при ядерних перетвореннях.

Бета-випромінювання – електронне випромінювання, що виникає при бета-розпаді ядер або нестабільних частинок.

Гамма-випромінювання – вид випромінювання з надзвичайно малою довжиною хвилі і, внаслідок цього, яскраво вираженими корпускулярними і слабо вираженими хвильовими властивостями.

Рентгенівське випромінювання – фотонне випромінювання, що складається з гальмового і (або) характеристичного випромінювань.

Нейтронне випромінювання – корпускулярне випромінювання, що складається з нейтронів



Ізмери – радіонукліди з однаковими числами протонів і нейтронів, що знаходяться в різних ядерно-енергетичних станах



Фізичні основи

Радіоактивне джерело випромінювання – будь-яка кількість радіоактивного матеріалу, що використовується в якості джерела іонізуючого випромінювання

Закон радіоактивного розпаду – опис розпаду ядер радіонуклідів у часі

$N = N_0 \exp(-\lambda t)$, де N – число ядер радіонукліда, що залишилися через час t ; N_0 – вихідне число ядер радіонукліда; λ – стала, що характеризує швидкість радіоактивного розпаду

Період напіврозпаду – час, протягом якого розпадається половина ядер даного радіонукліда

$$T_{1/2} = \ln(2/\lambda) = 0,693/\lambda$$

Активність радіонукліда в джерелі (зразку) – відношення числа dN спонтанних ядерних переходів певного ядерно-енергетичного стану радіонукліду, що відбуваються в даній його кількості за інтервал часу dt , до цього часу

$$A = dN/dt$$

Питома активність радіонукліда – відношення активності радіонукліда в радіоактивному зразку до маси зразка. Являє собою сукупність незаряджених частинок -фотонів, що рухаються зі швидкістю світла c і володіють енергією $h\nu = hc/\lambda$, де h – стала Планка; ν – частота електромагнітних коливань; λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання

Гальмізне випромінювання – фотонні випромінювання з безперервним енергетичним спектром, що виникає при зменшенні кінетичної енергії заряджених частинок

Характеристичне випромінювання – фотонне випромінювання з дискретним енергетичним спектром, що виникає при зміні енергетичного стану атома

Змішане іонізуюче випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається з частинок різного виду або з частинок і фотонів



Фізичні основи

Енергетичний спектр іонізуючого випромінювання – розподіл іонізуючих частинок за енергією

Корпускулярне випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається з частинок з масою, відмінною від нуля

Гранична енергія спектру β -випромінювання – найбільша енергія частинок в безперервному енергетичному спектрі β -випромінювання даного радіонукліда

Гранична довжина спектру хвилі фотонного випромінювання – найменша довжина хвилі в безперервному спектрі фотонного випромінювання

$\lambda_{min} = 1,24 \cdot 10^{-9} / E$, де E – найбільша енергія фотонів в безперервному спектрі, кеВ, або анодна напруга на рентгенівській трубці, кВ

Моноенергетичне іонізуюче випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається з фотонів однакової енергії або частинок одного виду з однаковою кінетичною енергією

Немоноенергетичне випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається з фотонів різної енергії або частинок одного виду з різною кінетичною енергією

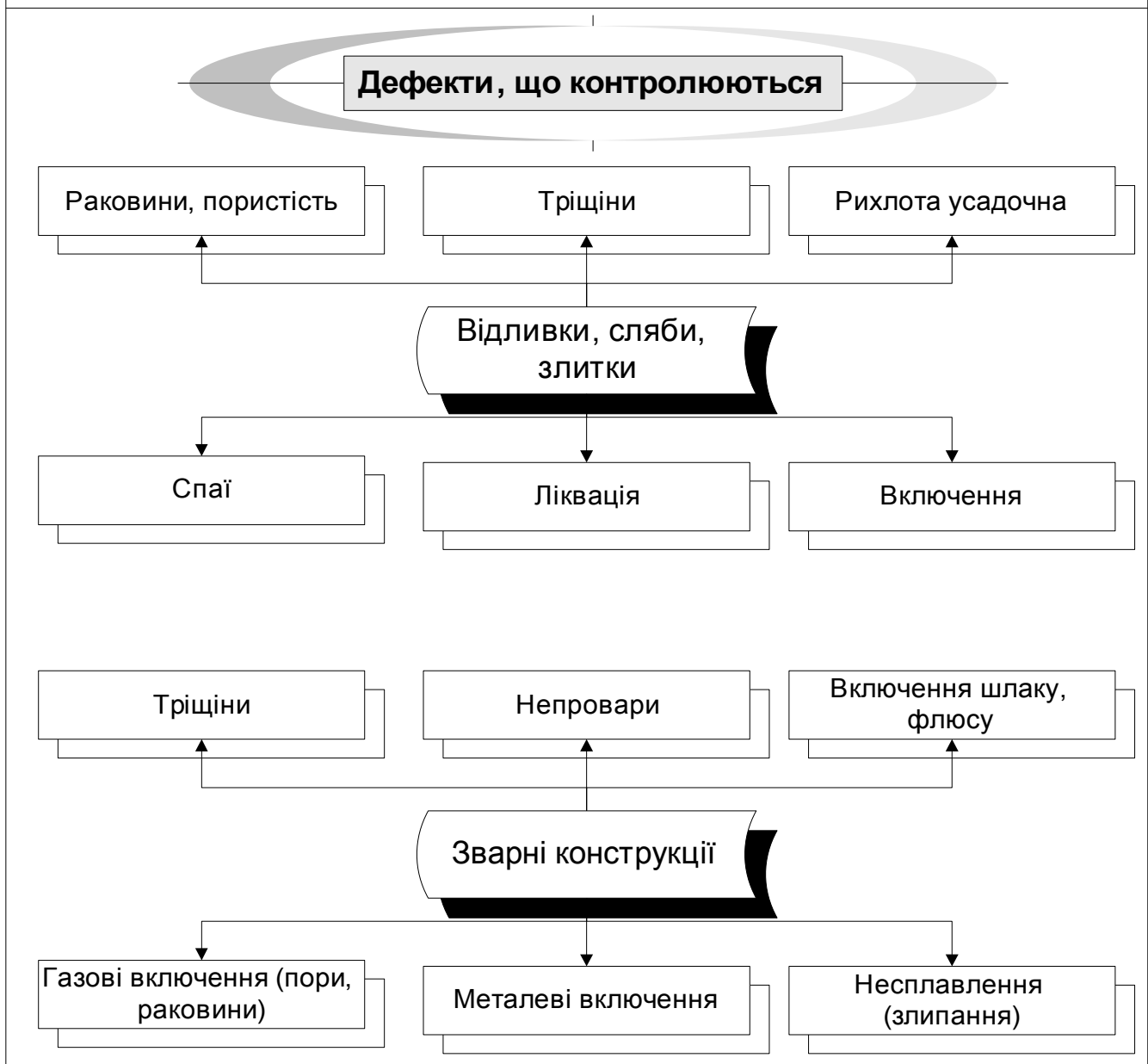
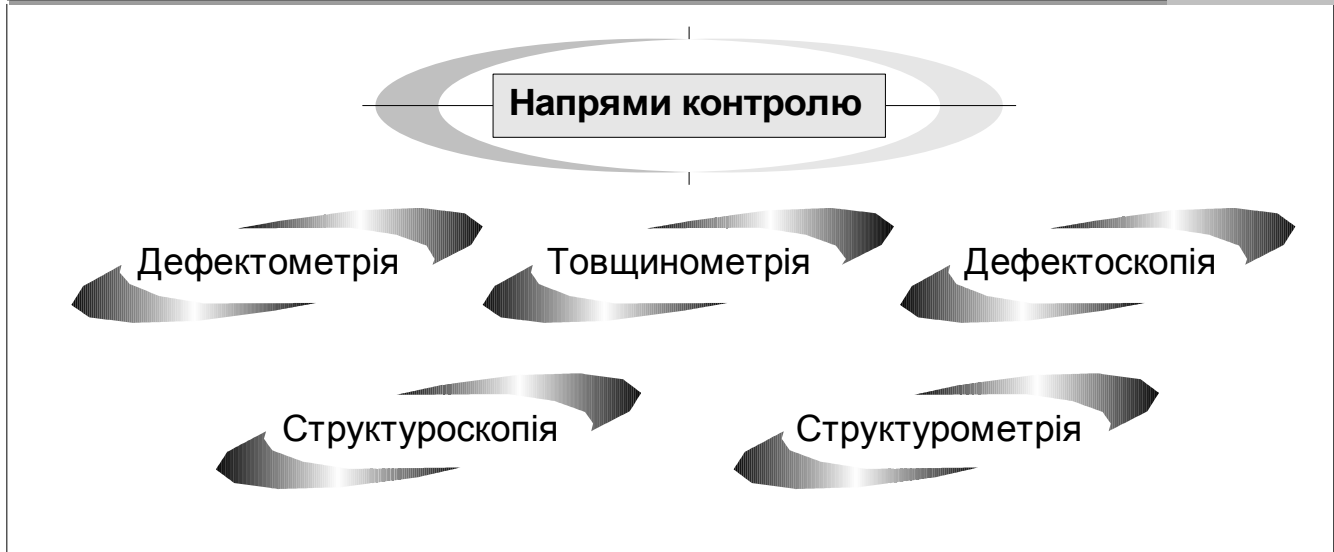
Поле іонізуючого випромінювання – просторово-часовий розподіл іонізуючого випромінювання в розглянутому середовищі

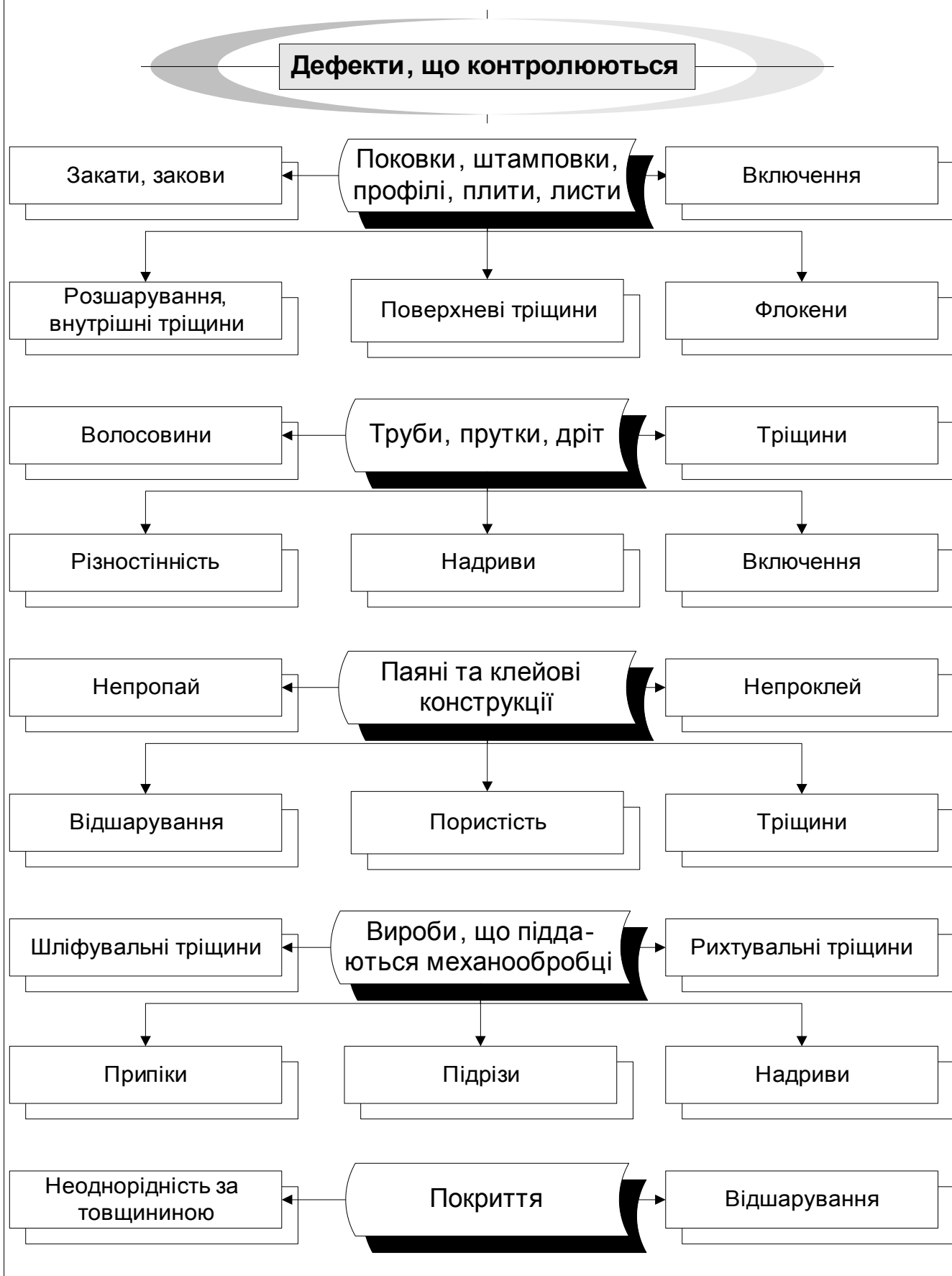
Потік іонізуючих часток – відношення числа іонізуючих частинок dN , що падають на дану поверхню за інтервал часу dt до цього інтервалу

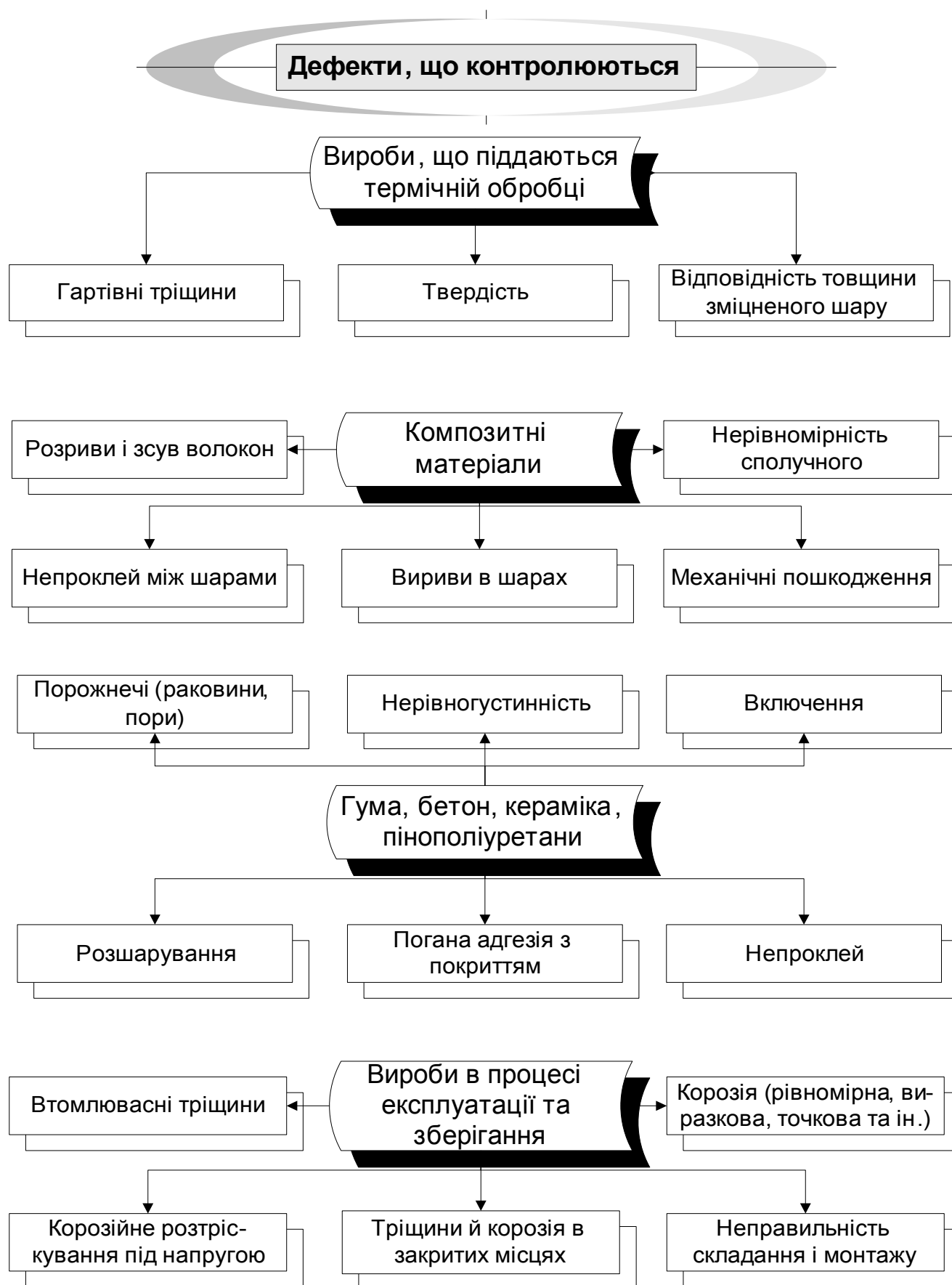
$$\Phi_N = dN/dt$$

Щільність потоку іонізуючих частинок – відношення потоку іонізуючих частинок $d\Phi_N$, що проникають в об'єм елементарної сфери, до площі поперечного перерізу dS цієї сфери

$$\varphi_N = d\Phi_N/dS$$









Засоби контролю

Негатоскоп



Товщиномір



Рівнемір

Gamma-pilot M FMG60



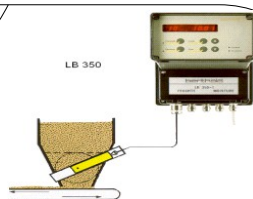
Густиномір

РІП-3



Вологомір

LB 350



Концентратомір

РКП-305



Рентген-флуорисцентний аналізатор



ЭЛАН

Промисловий рентгенівський прилад



Гамма-дефектоскоп



Пожежний сповіщувач

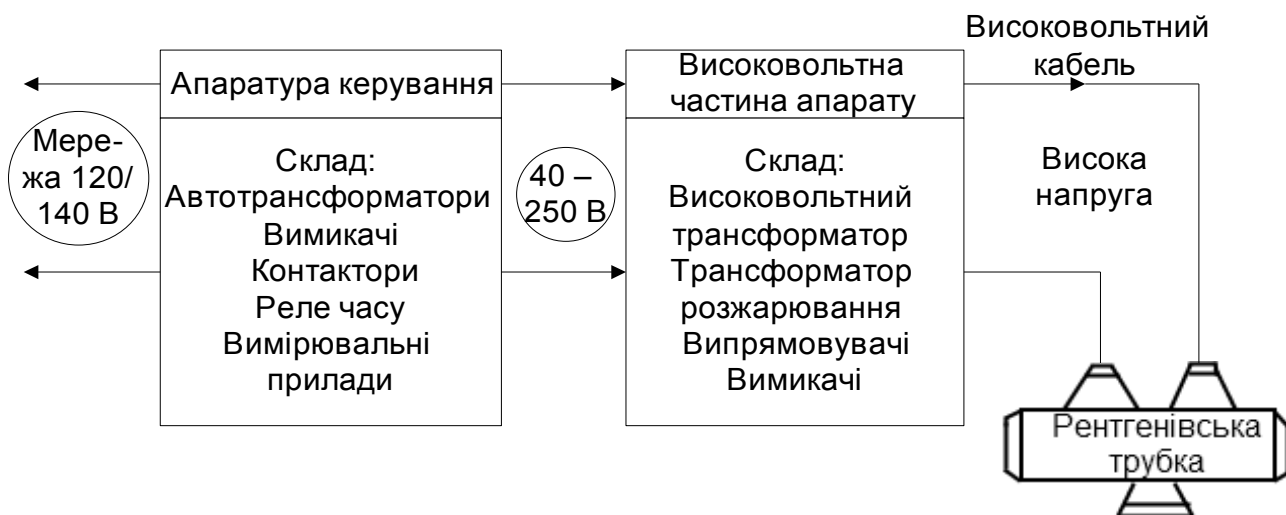


Флюорограф – пристрій для проведення флюорографії, що має у своєму складі камеру з радіаційно-оптичним перетворювачем і фотоапаратом

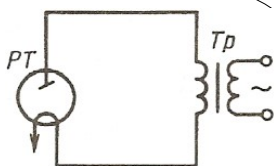
Флюороскоп – радіаційний інтроскоп для проведення флюороскопії



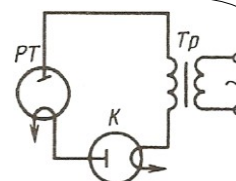
Рентгенівська апаратура



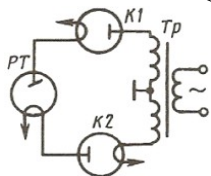
Апарати без випрямовувачів



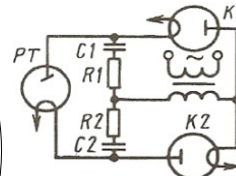
Напівпровідникові кенотронні апарати



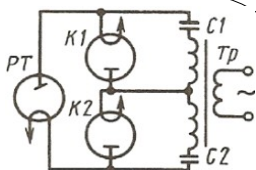
Напівпровідникові кенотронні апарати



Апарати, що працюють за схемою подвоєння напруги



Апарати, що працюють за схемою подвоєння напруги



Апарати, що працюють за схемою подвоєння напруги

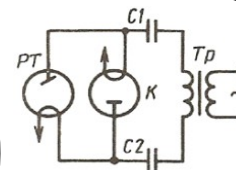
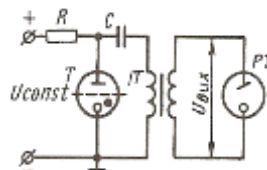
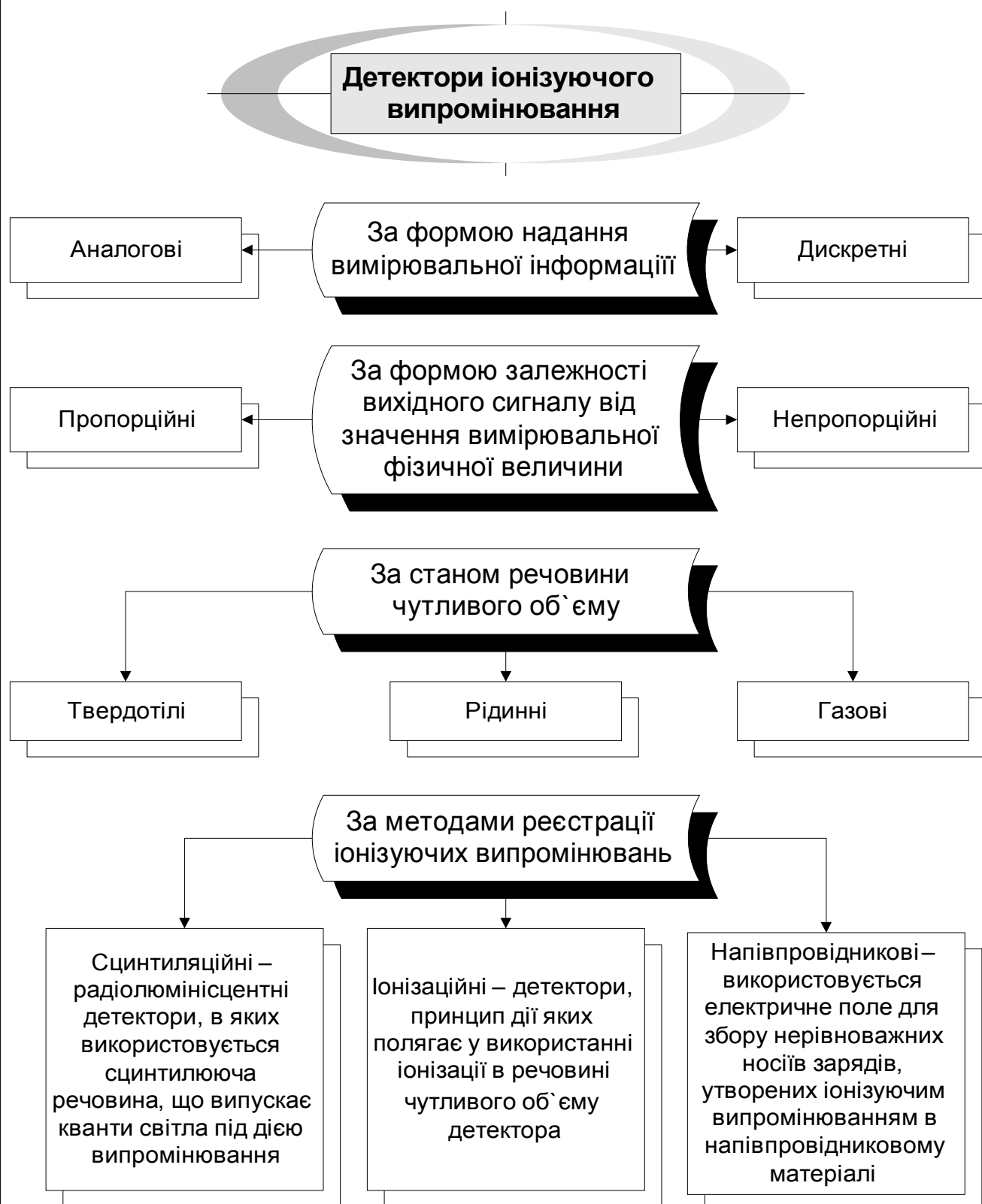


Схема генерування імпульсів анодної напруги імпульсом апарату



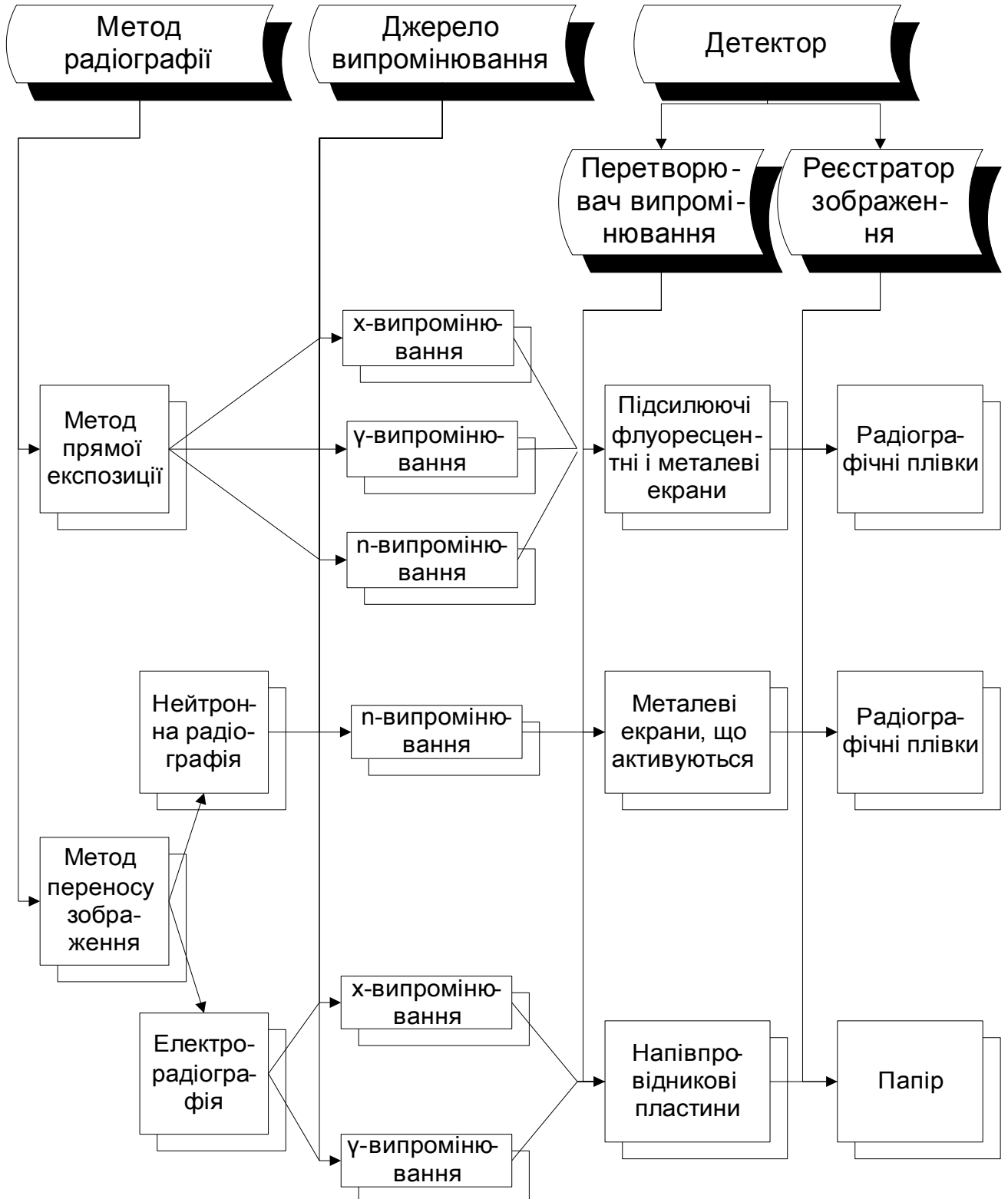
PT – рентгенівська трубка; Tr – трансформатор; К – кенотрон; С – конденсатор; IT – імпульсний трансформатор; Т – тиратрон



! До назви детекторів додають вид іонізуючого випромінювання, що реєструється (наприклад x-детектор чи n-детектор та ін.)

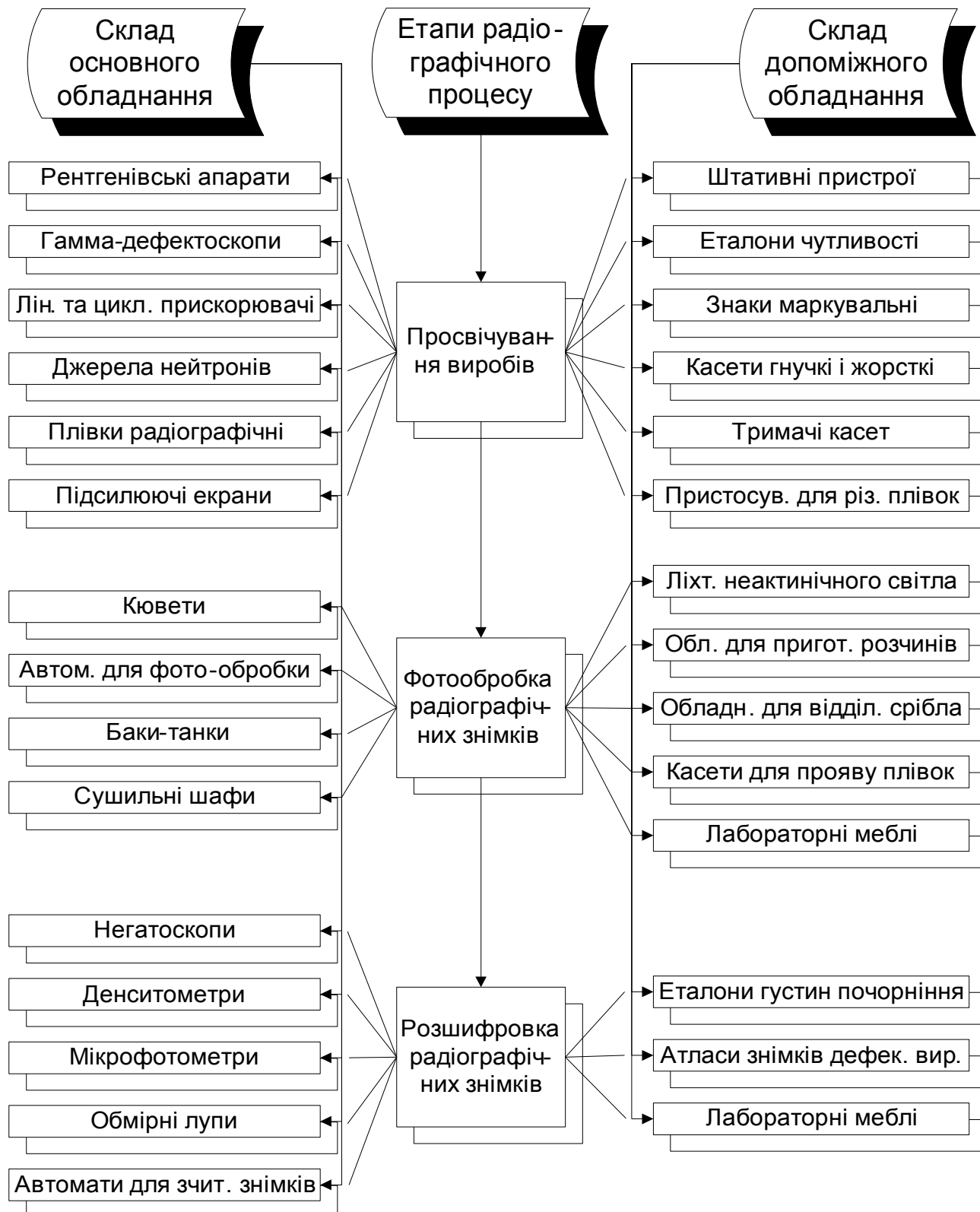


Засоби промислової радіографії



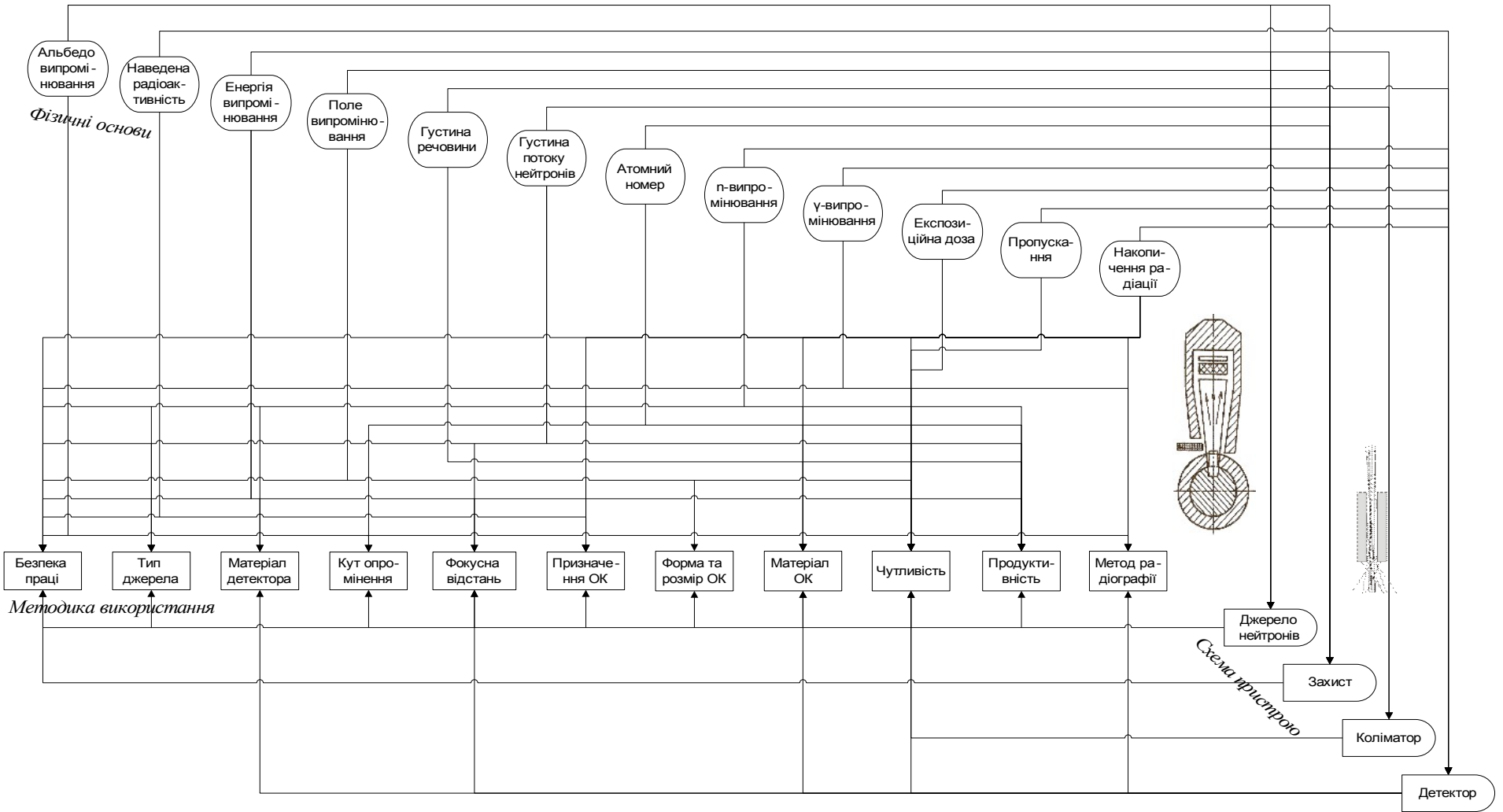


Засоби промислової радіографії





Метод нейтронної радіографії





Питання з МНР

1. Встановлено, що нейтронна радіографія – метод НК заснований на просвічуванні досліджуваного об'єкта колімованим пучком нейтронів і реєстрації тіньового зображення об'єкта на рентгенівській плівці. Фізичною основою є залежність розрізу взаємодії випромінювання з речовиною від характеристик речовини. Найбільш ефективні теплові нейтрони, що мають більш високі перерізи поглинання і розсіяння, що дозволяє виявляти малі концентрації елементів. Сформулюйте умови для ОК, які можуть контролюватись цим методом.
2. Відомо, що у якості джерел випромінювання використовуються радіонуклідні джерела (великий час експозиції; мала густина потоку нейтронів; слабка межа розділення); прискорювачі заряджених частинок (середній час експозиції; середня густина потоку нейтронів; середня межа розділення); підкритичні збирання (середній час експозиції; висока густина потоку нейтронів; добра межа розділення); ядерний реактор (короткий час експозиції; висока густина потоку нейтронів; відмінна межа розділення). Контролю піддаються: радіоактивні вузли та деталі; деталі з деяких легких матеріалів; водомісткі включення у металах; шаруваті багатокомпонентні матеріали; тонкі біологічні зразки та компоненти. Змодельуйте ситуації використання певного джерела енергії для конкретних умов та ОК.
3. Коліматор – пристрій для отримання пучків паралельних променів іонізуючого випромінювання, що складається з двох повздожніх стінок. Опишіть принцип роботи коліматора нейтронного радіографа (за рахунок чого випрямляються пучки нейтронів).
4. У літературі наводиться, що експозиційна доза – це міра іонізації повітря в результаті впливу на нього фотонів, рівна відношенню сумарного електричного заряду іонів одного знака, утвореного іонізуючим випромінюванням, поглинутим в деякій масі сухого повітря при нормальних умовах, до маси цього повітря. Експонування – процес опромінення світлочутливого матеріалу актинічним випромінюванням. При експонуванні змінюються фізико-хімічні властивості матеріалу. При прямій експозиції зображення отримується в процесі просвічування ОК пучком нейтронів. У цьому випадку на детектор впливають не тільки нейтрони, але і гамма-випромінювання, яке завжди присутнє в нейтронних пучках. Даний спосіб доцільно застосовувати у випадках, коли відсутнє фонове випромінювання. Запропонуйте способи контролю, в яких можливо забезпечити таку умову. Яким чином зміниться функціональність контролю?
5. Чутливість плівки – величина, зворотна дозі експозиції. Які фактори впливають на цей параметр?



Питання з МНР

6. Встановлено, що коефіцієнт пропускання плівки— це відношення потоку випромінювання, що пройшов через середовище, до потоку, що упав на його поверхню — одна з найважливіших характеристик радіографічної плівки. Він визначає оптичну щільність почорніння (зворотний десятиковий логарифм коефіцієнта пропускання) і гранулярність (неоднорідність структури почорніння). Чим обмежені можливості вдосконалення плівки в параметрах коефіцієнта пропускання і чутливості?
7. Відомо, що фокусну відстань обирають в залежності від товщини ОК δ , розмірів фокусної плями d , та геометричної нерізкості u_s за формулою: $F = \delta((d/u_s) + 1)$. Опишіть необхідність дотримання фокусної відстані через фізичні явища.
8. Визначте основні конструктивні елементи радіографа на схемі, що представлена на каузальній мережі.
9. Зі збільшенням розмірів ОК, збільшується кількість розсіяної радіації, яка надходить з джерела випромінювання. Як зменшити вплив цього фактору?
10. При контролі тіл обертання тільки при кільцевому просвічуванні фокусна відстань і товщина стінки є постійними величинами, при всіх інших способах контролю їх значення змінюються від центру до краю контрольованої ділянки. Яким чином враховувати або усунути такі явища?
11. Зворотньорозсіяне випромінювання (альbedo) виникає при багаторазовому розсіянні квантів в ОК і поглиначі. При цьому частина розсіяного випромінювання виходить з поглиначя і впливає на обслуговуючий персонал і детектор. Із збільшенням атомного номера Z речовини відбиваючого середовища кількість зворотньорозсіяного випромінювання зменшується приблизно пропорційно квадрату Z , воно так само зростає при косому падінні випромінювання на об'єкт приблизно пропорційно $1/\cos\Theta$, де Θ — кут падіння випромінювання. Як це позначається на технології контролю?
12. Як уникнути накладення зображення зварної ділянки шва, зверненого до плівки на зображення ділянки шва при контролі зварних з'єднань труб малого діаметру?
13. Як визначити глибину залягання дефекту за допомогою радіографії?
14. Радіаційна апаратура чутлива до різких перепадів товщини. Для запобігання похибці вимірювань використовують компенсатори. Зобразіть деталь складної конфігурації з конкретним компенсатором і поясніть принцип роботи.
15. Яким чином перевірити працездатність нейтронного радіографа?
16. Побудуйте каузальну мережу навколо поняття „час” для представленого методу.
17. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу радіаційного НК.

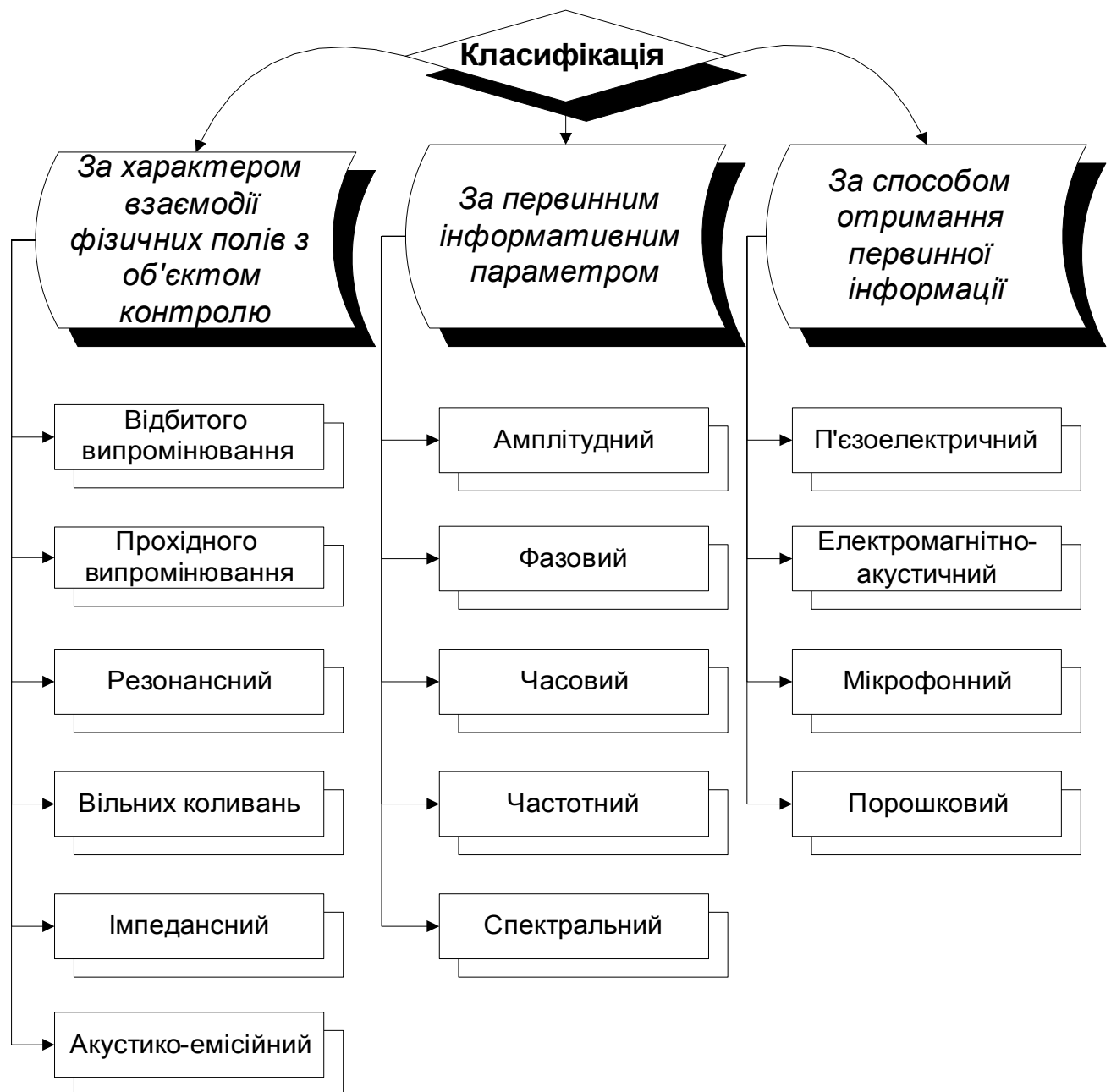


Література до розділу

1. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная , ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий : Учеб. Для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
2. Ключев В. В., Соснин Ф. Р. Теория и практика радиационного контроля . – М.: Машиностроение , 1998. – 170 с.
10. Литво. Контроль радіографічний .: ДСТУ EN 12681:2005 . – К., 2005. – 18 с.
3. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Ключева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 1: Ф. Р. Соснин. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2: Ф. Р. Соснин. Радиационный контроль . – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение , 2006. – 560 с.
4. Неруйнівний контроль зварних з 'єднань. Контроль зварних з'єднань, виконаних плавленням , радіографічний .: ДСТУ EN 1435-2005. – К., 2005. – 32 с.
5. Неруйнівний контроль зварних з 'єднань. Критерії приймання для радіографічного контролю зварних з 'єднань.: ДСТУ EN 12517-2002. – К., 2002. – 9 с.
6. Неруйнівний контроль . Основні принципи радіографічного методу контролю металів рентгенівським і гамма-випроміненнями.: ДСТУ EN 444:2005 . – К., 2005. – 17 с.
7. Неруйнівний контроль . Промислова радіографічна плівка . Частина 1. Класифікація плівкових систем для промислової радіографії .: ДСТУ EN 584-1-2001 . – К., 2001. – 14 с.
8. Неруйнівний контроль . Промислова радіографічна плівка. Частина 2. Контроль оброблення плівки за допомогою опорних величин .: ДСТУ EN 584-2-2001 . – К., 2001. – 13 с.
9. Румянцев С. В., Штань А. С., Гольцев В. А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля / Под ред. С. В. Румянцева. – М.: Энергоиздат, 1982. – 210 с.



Акустичний неруйнівний контроль (Acoustic nondestructive testing) – вид НК, заснований на застосуванні пружних коливань, які збуджуються або виникають в об'єкті контролю





Фізичні основи

Однорідне середовище – середовище, властивості якого в будь-якому виділеному обсязі однакові

Пружність – властивість матеріалу під дією механічних напруг деформуватися зворотно: після зняття напружень матеріал залишається недеформованим

Пружне тіло – тіло, що володіє властивістю пружності

Пружне середовище – середовище, будь-який виділений обсяг якого має властивість пружності

Пружна анізотропія – залежність пружних властивостей матеріалу від напрямку

Деформація твердого тіла, деформація – зміна розмірів і (або) форми твердого тіла

Деформація пружна – деформація, що зникає після припинення дії зовнішніх сил, що її викликали

Деформація розтягнення-стиску – деформація, що характеризується відносною зміною довжини лінійного елемента тіла

Деформація зсуву – деформація, при якій відбувається поворот лінійного елемента тіла без зміни його довжини. При малих деформаціях визначається кутом повороту лінійного елемента (в радіанах). Деформація зсуву не супроводжується зміною об'єму тіла

Деформація пластична – деформація, що зберігається після припинення дії зовнішніх сил, що її викликали

Сила пружна – внутрішня сила, що виникає в пружному тілі (пружному середовищі) внаслідок його деформації

Коливання – рух (зміна стану), що характеризується тим чи іншим ступенем повторюваності в часі



Фізичні основи

Пружні коливання – коливання, що здійснюються у пружному тілі або в пружному середовищі і зумовлені дією пружних сил

Зсув – відхилення елемента коливальної системи з зосередженими сталими або частинки середовища системи з розподіленими сталими від положення рівноваги . У загальному випадку є вектором

Колівальна швидкість – швидкість елемента коливальної системи з зосередженими сталими або частинки середовища системи з розподіленими сталими щодо положення рівноваги , що дорівнює похідній зміщення за часом

Цикл коливання – сукупність станів коливальної системи , що обмежена станами, в яких коливальна величина має локальні максимуми або мінімуми

Період коливання – найменший проміжок часу , за який здійснюється один цикл коливання . Для періодичних коливань – час, за який здійснюється одне повне коливання

Амплітуда – максимальне відхилення коливальної величини від значення, що відповідає положенню рівноваги , за період коливань

Частота коливань – кількість періодів (циклів) коливань в одиницю часу

Кругова частота, кутова частота, циклічна частота – величина, що дорівнює $\omega=2\pi f=2\pi/T$, де f – частота; T – період коливання

Ультразвукова частота – частота, що перевищує межу чутності людського вуха. Нижню межу ультразвукової частоти приймають рівною 20 кГц, верхню – 1 ГГц

Власна частота – частота вільних коливань системи

Гармоніка – власна частота, яка є кратною основній частоті

Фаза коливання – миттєвий стан коливання, виражений через значення кута в радіанах



Фізичні основи

Коефіцієнт загасання (просторовий) – коефіцієнт, що визначає ступінь зменшення (за експоненціальним законом) амплітуди пружної хвилі при проходженні нею одиниці відстані у середовищі і залежить від властивостей середовища, довжини хвилі і її моди. Є сумою коефіцієнтів поглинання і розсіювання

Коефіцієнт поглинання – коефіцієнт, що визначає ступінь зменшення (за експоненціальним законом) амплітуди пружної хвилі при проходженні нею одиниці відстані в середовищі внаслідок поглинання

Коефіцієнт розсіювання – коефіцієнт, що визначає ступінь зменшення (за експоненціальним законом) амплітуди пружної хвилі внаслідок розсіювання при проходженні хвилею одиниці відстані в середовищі

Добротність матеріалу – кількісна характеристика втрат у матеріалі, визначена як відношення хвильового числа до подвоєного просторовому коефіцієнту згасання : $Q = k/2\delta$

Акустичний імпеданс – відношення амплітуди звукового тиску до амплітуди коливальної швидкості в загальному випадку, коли поряд з хвилею, що біжить, існує і стояча або відбита хвиля

Напрями контролю

Товщинометрія

Дефектоскопія

Структуроскопія

Глибинометрія



Засоби контролю

Дефектоскоп



Товщиномір



Шумомір



Вимірювач довжини



Вимірювач міцності



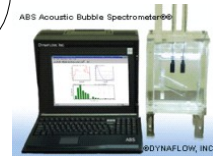
Доплерівська система вимірювання швидкості



Вібромір



Спектрометр



Виявник газових течей



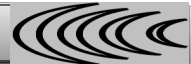
Лічильник рідин



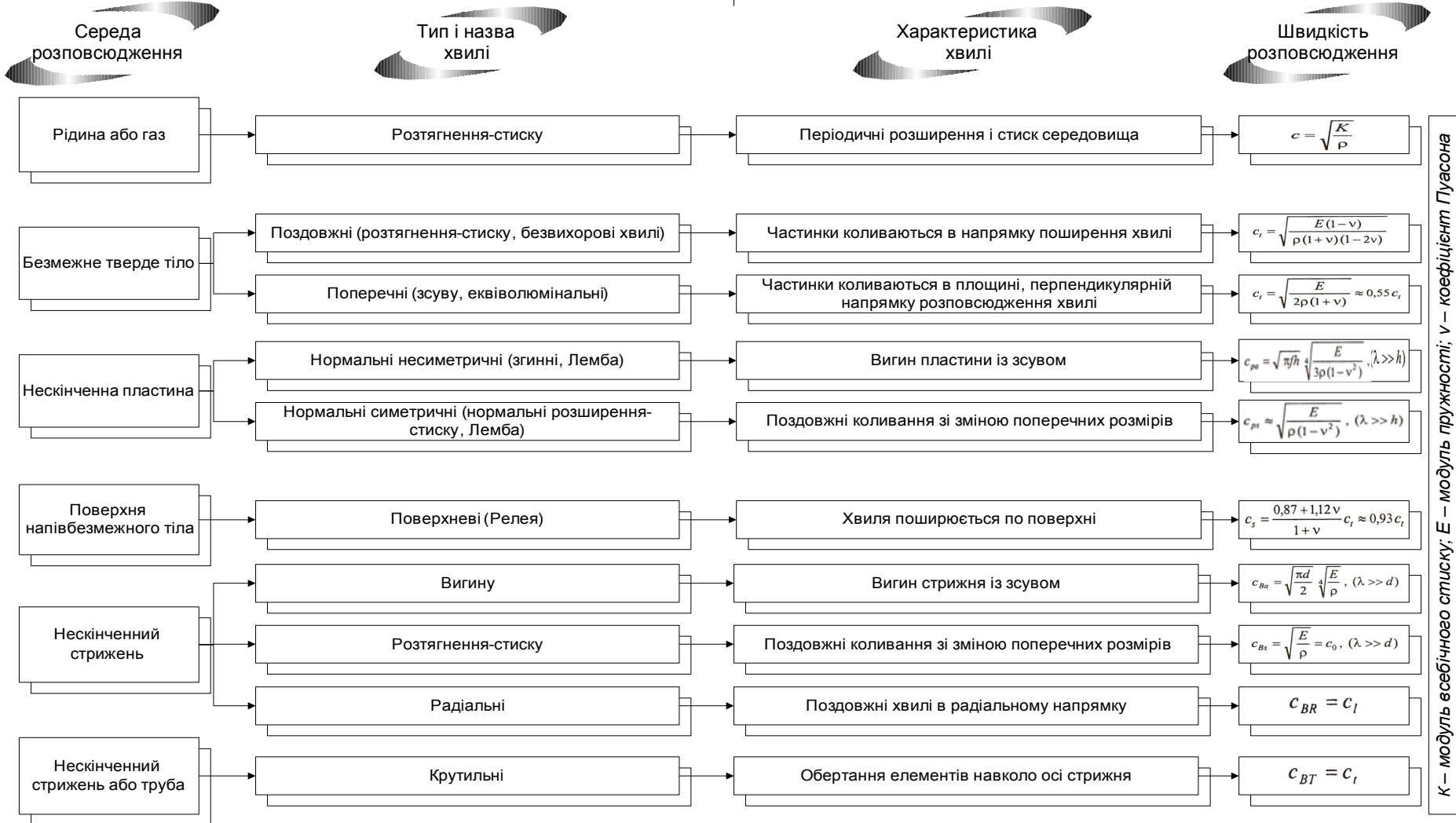
Ехолот



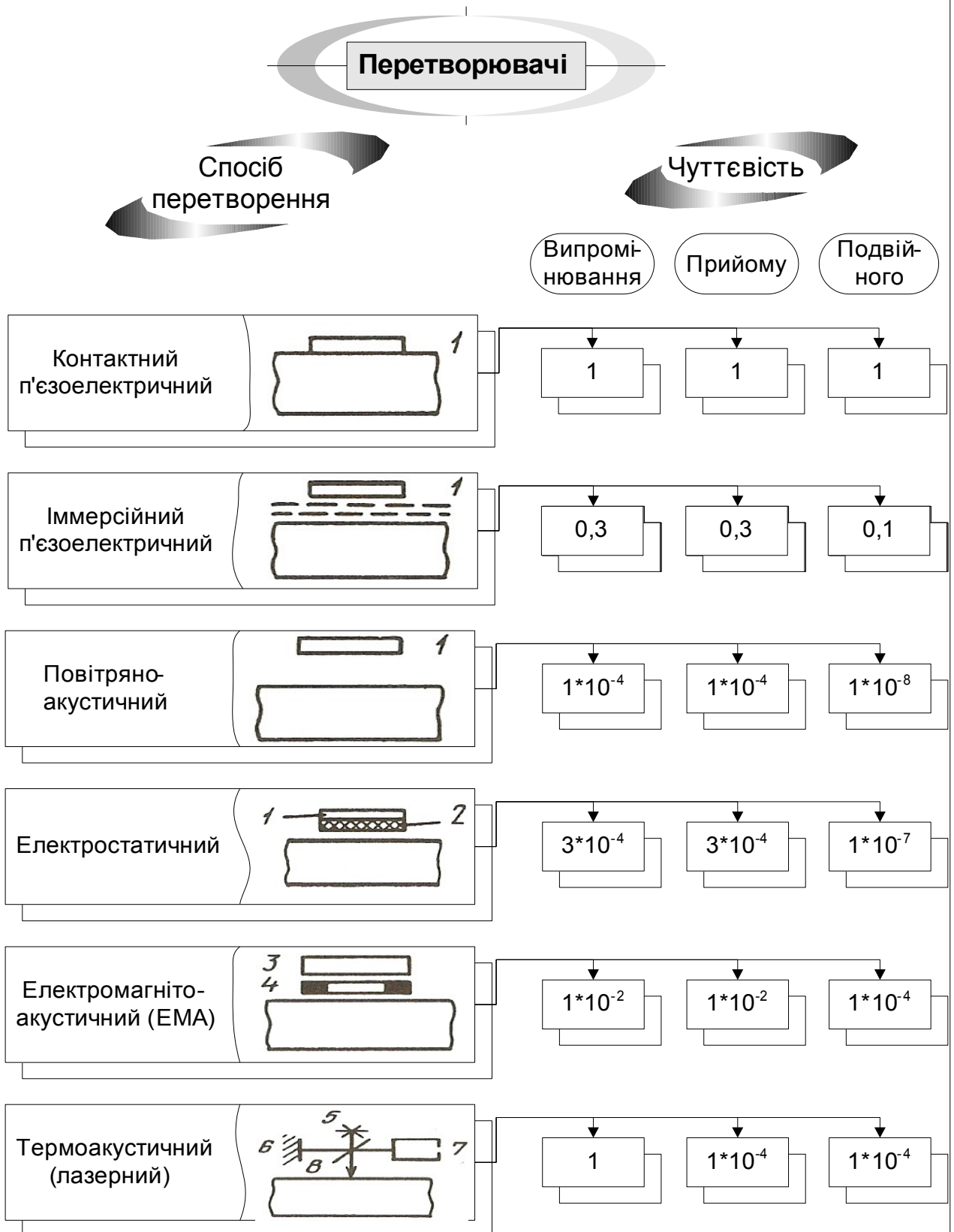
Структуроскоп – пристрій акустичного НК, призначений для визначення структури матеріалів



Типи хвиль



K – модуль всесічного стиску; E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона



1 – п'єзоперетворювач; 2 – електрет; 3 – магніт; 4 – струмова котушка; 5 – лазер; 6 – дзеркало; 7 – фотоелектронний помножувач; 8 – напівпрозоре дзеркало



Перетворювачі

П'єзоперетворювачі

1 – п'єзо-пластина; 2 – демп-фер; 3 – протектор; 4 – кон-тактна рі-дина; 5 – ОК; 6 – корпус; 7 – виво-ди

1 – п'єзопластина; 2 – демпфер; 3 – протектор; 4 – контактна рідина; 5 – ОК; 6 – корпус; 7 – виводи; 8 – призма

1 – п'єзо-пластина; 2 – демп-фер; 3 – протектор; 4 – кон-тактна рі-дина; 5 – ОК; 6 – корпус; 7 – виво-ди; 8 – призми; 9 – електроакустичний екран

1 – плоска спіральна котушка; 2 – ОК (металевий лист); 3 – розподіл сил у металі

1 – плоска спіральна котушка; 2 – ОК; 3 – розподіл сил; 4 – магніт або сердечник електромагніта

1 – лінійка котушок; 2 – ОК; 3 – розпо-діл сил; 4 – магніт

ЕМА-перетворювачі

1 – лінійка котушок; 2 – ОК; 3 – розпо-діл сил; 4 – магніт; 0 – точка фокусу-вання

1 – циліндрична тонкостінна котушка; 2 – ОК. Додатково може бути застосований магніт (електромагніт)

1 – котушка або лінійка котушок; 2 – ОК (лист); 3 – електромагніт



Методи контролю

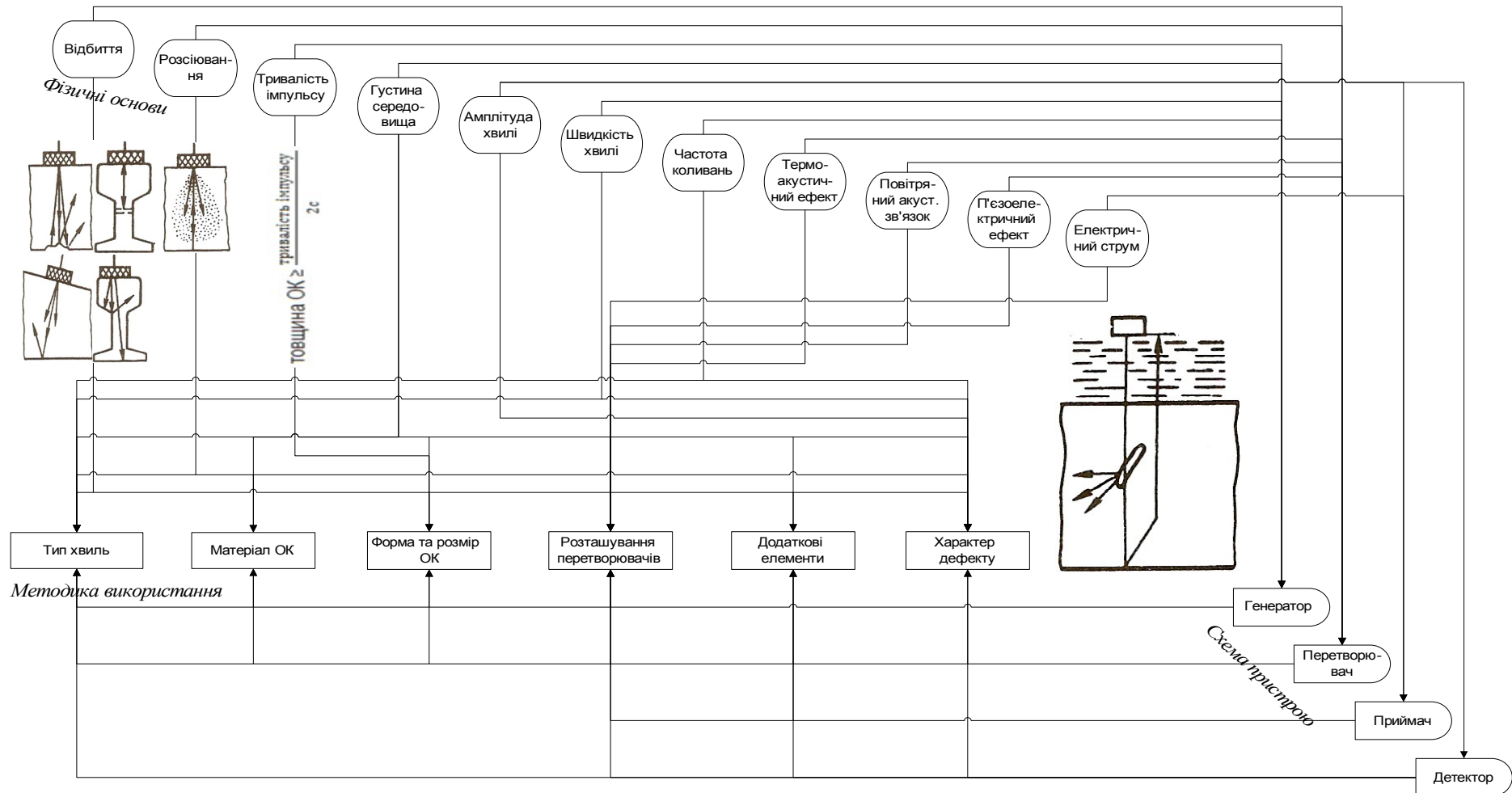
Методи

Принципи





Дзеркально-тіньовий метод





Питання з ДТМ

1. Як відомо, дзеркально-тіньовий метод заснований на вимірюванні амплітуди донного сигналу. Яким чином тут об'єднуються методики дзеркального та тіньового методів?
2. Як та за рахунок чого змінюється амплітуда пружної хвилі при проходженні через дефектний ОК?
3. Які хвилі, на вашу думку, використовуються в представленому методі?
4. Чому для контролю дзеркально-тіньовим методом використовуються в основному імпульсні генератори, а не генератори постійного та змінного сигналу?
5. Кут нахилу перетворювачів для повздовжніх хвиль при контролі двома нахиленими перетворювачами по донному відбиттю хвилі роблять невеликим ($5...10^\circ$) для того, щоб не виникали поперечні хвилі. Контактна та донна поверхні мають бути паралельними. Як використати дзеркально-тіньовий дефектоскоп, якщо конфігурація ОК не дозволяє дотриматись цих умов?
6. Відомо, що за використання простих прямих перетворювачів при контролі тонких ОК мають місце мертві зони, що заважають отриманню донного сигналу. Крім іншого це впливає на контроль поперечних дефектів. Запропонуйте умовний тип перетворювачів, який усуває згадані недоліки.
7. Як проконтролювати виріб, якщо неможливим є доступ до контактної поверхні?
8. Відомо, що одна з груп перешкод – перешкоди, пов'язані зі зміною загасання ультразвуку в результаті структурних неоднорідностей ОК. Довідкова література в таких випадках рекомендує застосування часового тіньового методу. Чи можливо незначно змінити стандартну схему дзеркально-тіньового дефектоскопа або використовувати деяке додаткове обладнання для послаблення впливу згаданої перешкоди?
9. Доповніть представлену каузальну мережу.
10. Користуючись додатковою літературою, побудуйте мережу будь-якого іншого методу акустичного НК.

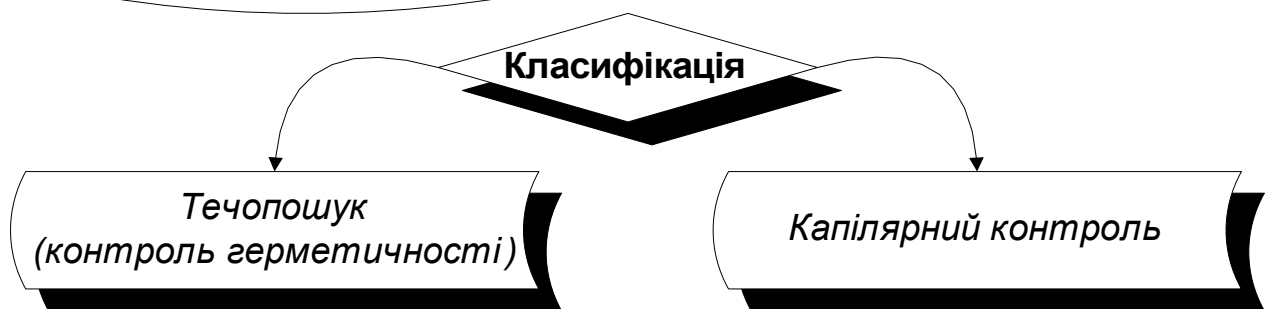


Література до розділу

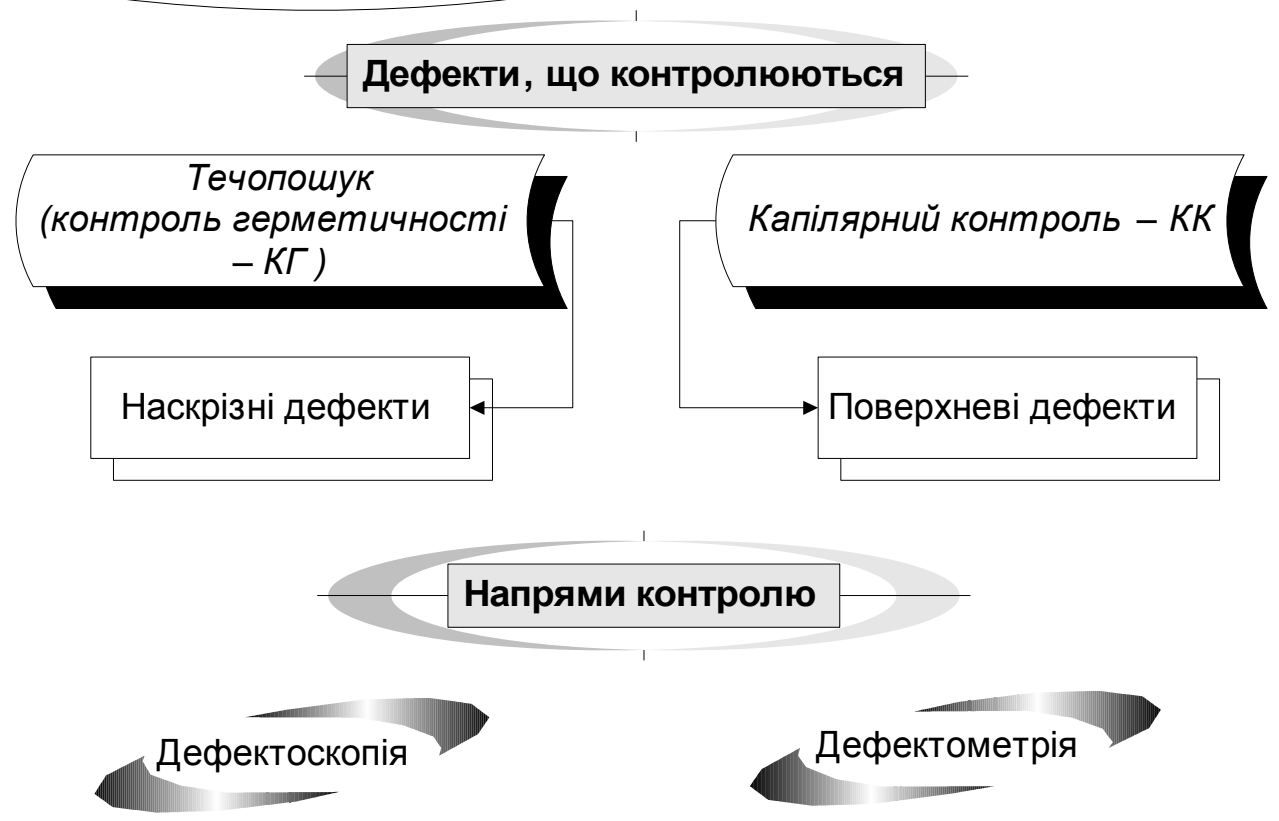
1. Алешин Н. П., Лупачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия : Справ. пособие – Мн.: Выш. шк., 1987. – 271 с.
2. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий : Учеб. Для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
3. Баранов В. М. и др. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса. – М.: Наука, 1998. – 314 с.
4. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.: ДСТУ 4227:2003. – К., 2003. – 28 с.
5. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 3: И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.
6. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 1: В. А. Анисимов, Б. И. Каторгин, А. Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2: Г. С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3: М. В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
7. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В. И. Иванов, И. Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.
8. Неразрушающий контроль в 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
9. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 1. Загальні вимоги.: ДСТУ EN 583-1-2001. – К., 2001.



Контроль проникаючими речовинами (Liquid Penetrant Testing) - вид неруйнівного контролю, основним принципом якого є проникнення спеціальних рідин в дефекти суцільності на поверхні об'єкта контролю з метою їх виявлення



! Контроль проникаючими речовинами (КПР) поділяють на капілярний контроль (КК) та течопошук, але не завжди можна чітко ідентифікувати вид контролю за цією класифікацією: часто течопошук та капілярний контроль переходять один в одний (наприклад, контроль герметичності капілярним проникненням рідин) і різниця між видами зникає



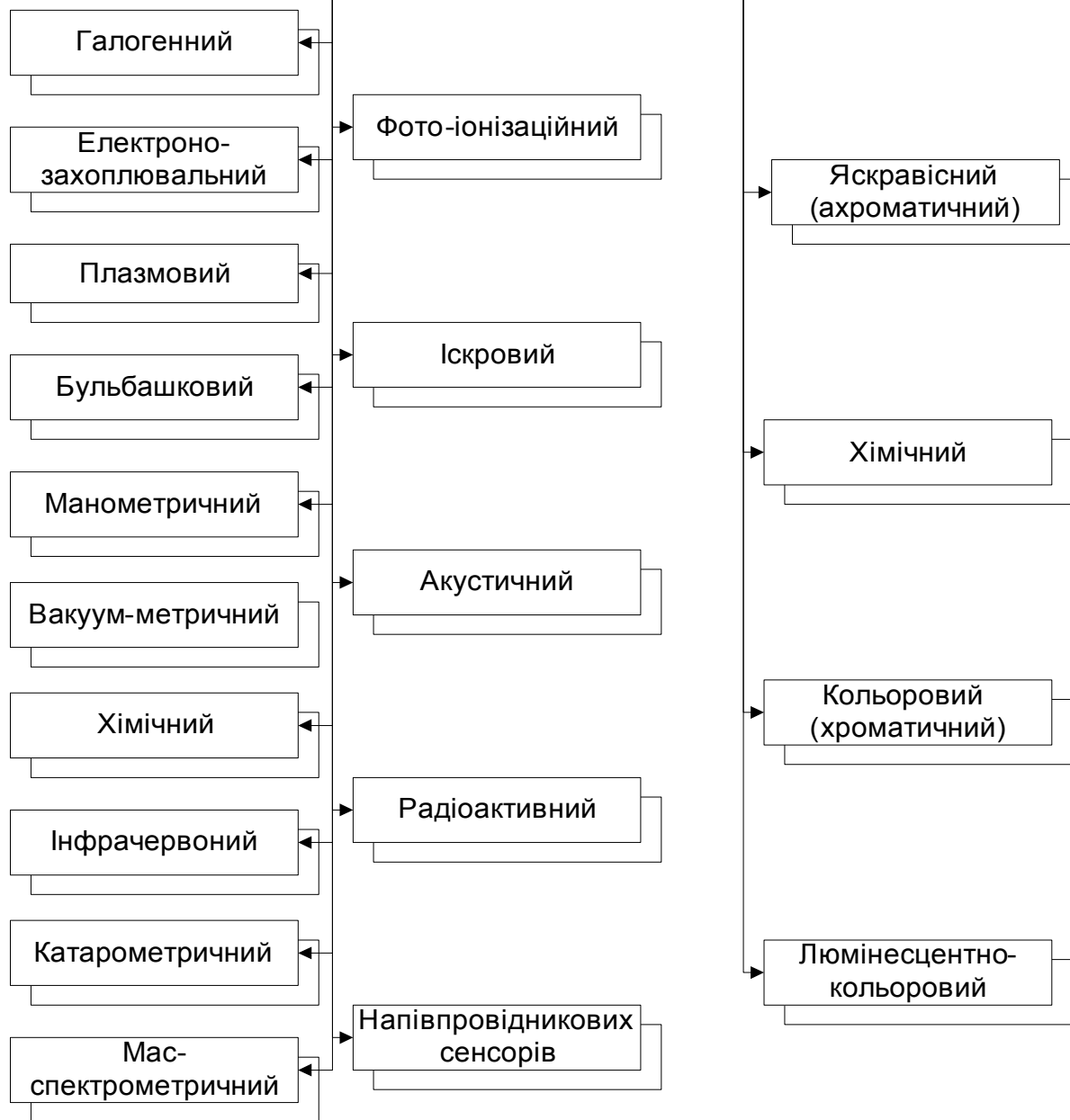


Контроль герметичності

Методи

Газові

Рідинні





Фізичні основи (КГ)

Густина – відношення маси однорідного тіла (газу) до його об'єму

$$\rho = \frac{m_r}{V}, \quad \text{де } m - \text{ маса газу;}$$

$V - \text{ об'єм газу}$

Тиск – сила, діюча на одиницю поверхні, що стикається з газом. Він обумовлюється ударами молекул по цій поверхні

$$p = \frac{2}{3} n \frac{mv^2}{2}, \quad \text{де } n - \text{ число молекул в одиниці об'єму;}$$

$mv^2/2 - \text{ середня кінетична енергія молекул}$

Закон Дальтона – тиск суміші ідеальних газів, які хімічно не взаємодіють, дорівнює сумі парціальних тисків

$$p_{\text{см}} = \sum_{j=1}^k p_j$$

Потік газу – витрата газу, в якому кількість газу виражено добутком тиску на об'єм

$$Q = pV_t$$

Довжина вільного пробігу молекули – це відстань, яку молекула пролітає за час вільного пробігу від одного зіткнення до наступного

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma n}, \quad \text{де } \sigma - \text{ ефективний переріз молекули;}$$

$n - \text{ кількість зіткнень}$

Опресовування – вплив надлишковим тиском на виріб при течопошуку і (або) у підготовці до нього

Об'ємна витрата газу – обсяг газу, що проходить через перетин трубопроводу в одиницю часу

Газовиділення – виділення газу з матеріалу у вакуум

Вакуум – середовище, що містить газ при тисках значно нижче атмосферного. Вакуум характеризується співвідношенням між довжиною вільного пробігу молекул газу і характерним розміром процесу. На практиці сильно розріджений газ називають технічним вакуумом



Засоби контролю (КГ)

Манометр



Галогенний течешукач



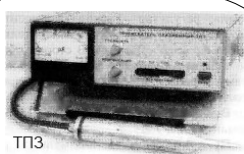
Мас-спектрометричний течешукач



Фото-іонізаційний течешукач



Плазмовий течешукач



Напівпровідниковий сенсорний течешукач



Акустичний течешукач



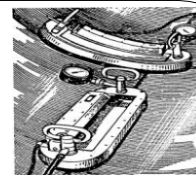
Іскровий течешукач



Електрозахватний течешукач



Вакуумна камера



Пробна речовина – речовина, проникнення якої через течу виявляється при течепошуку

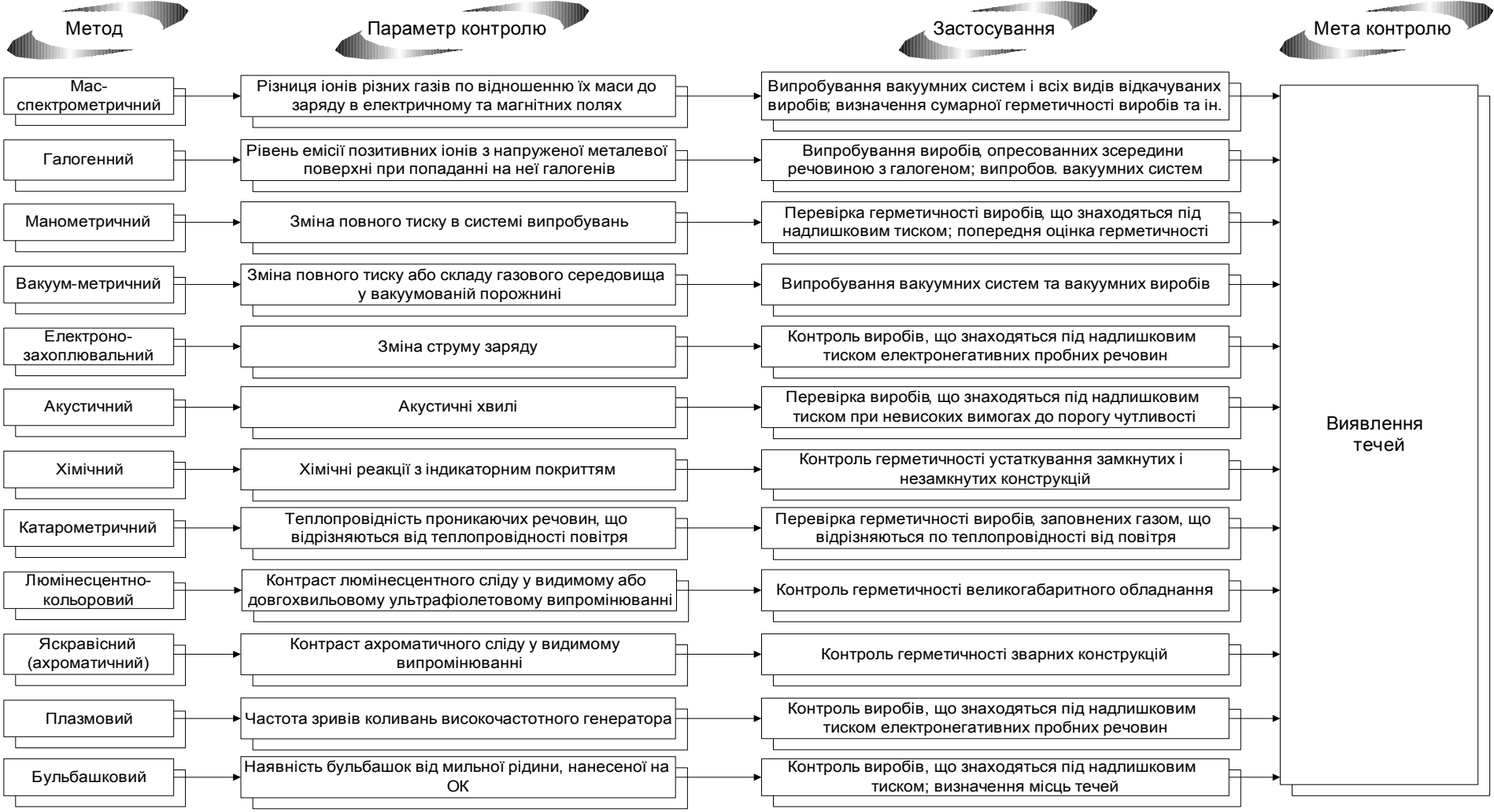
Баластна речовина – речовина, яка використовується для підвищення повного тиску

Речовина-носії – речовина, яка використовується для транспортування пробної речовини до індикаторного засобу

Індикаторний засіб – індикатор, який містить індикаторну речовину, його носій і (або) технологічні добавки

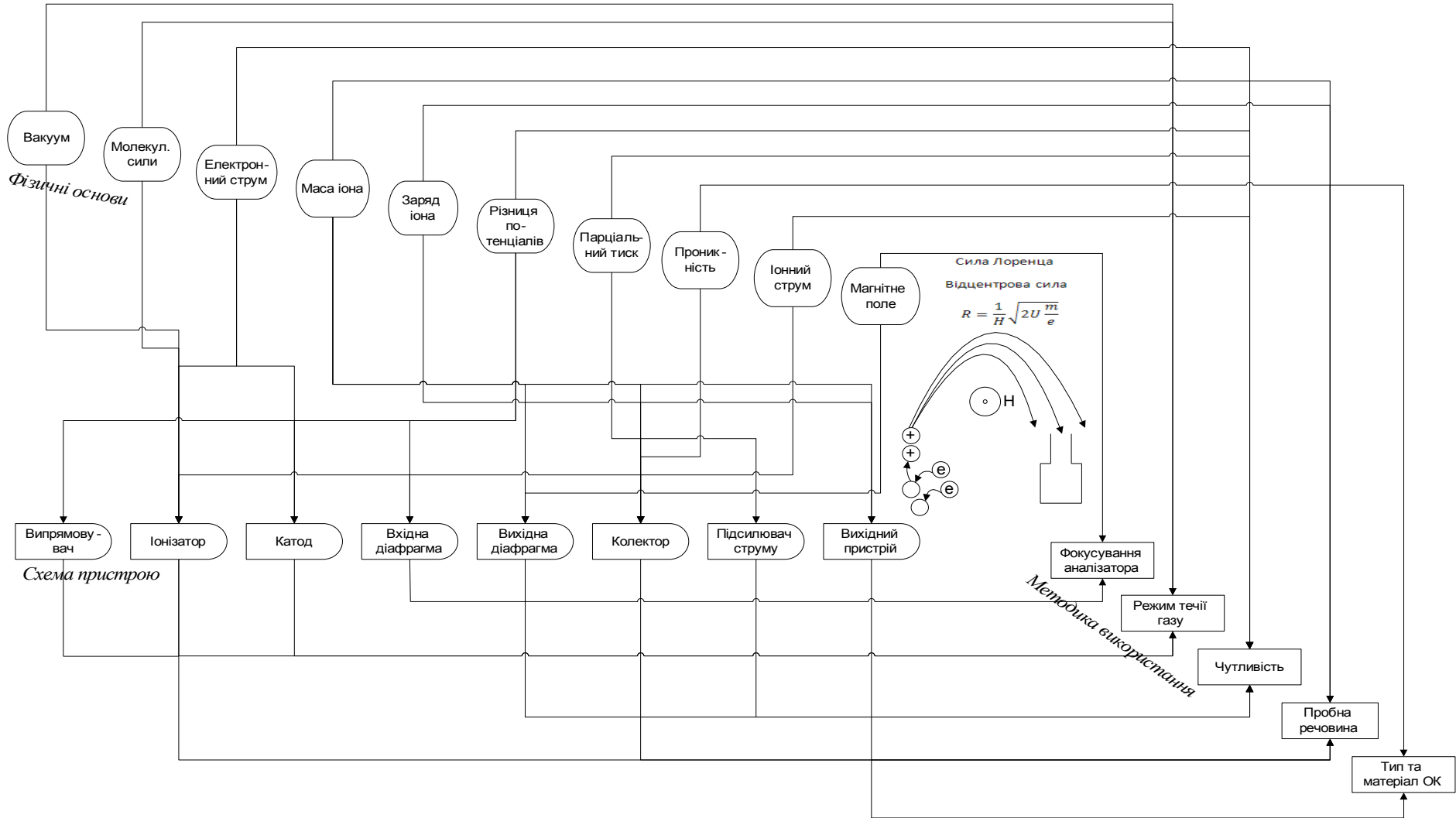


Методи контролю (КГ)





Мас-спектрометричний метод





Питання з МСМ

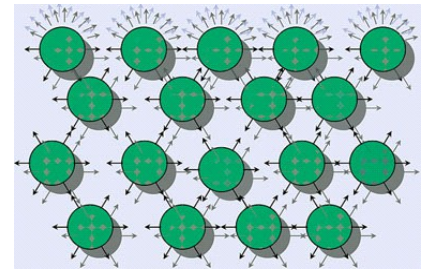
1. З літератури відомо, що магнітні мас-спектрометри засновані на іонізації газів з подальшим поділом іонів по відношенню їх маси до заряду у магнітних полях. Як, на вашу думку можна змусити іони пересуватись по вимірювальному пристрою ?
2. У якості пробної речовини використовується гелій, який домішується до робочої речовини. Чим це зумовлено? Чому не використовувати, наприклад, аміак, який можна відчутти і без спеціальних пристроїв ?
3. Яким повинно бути раціональне фокусування аналізаторів (в градусах) в магнітних мас-спектрометричних течошукачах ?
3. За рахунок чого можна відсіяти електрони з різними зарядами та масою (наприклад, фізичні або механічні шляхи)?
4. Чому для іонізації молекул газу використовується електронна пушка, а не, наприклад, протонна?
5. Чому контроль герметичності методом мас-спектрометрії повинен проводитися в умовах високого вакууму ?
6. Відомі наступні режими течії газу по трубопроводу: турбулентний; в'язкісний; молекулярний; молекулярно-в'язкісний. Який режим підходить для аналізу методом мас-спектрометрії?
7. Яким чином можна отримати вихідний сигнал про результати контролю ?
8. Які матеріали не можна проконтролювати за допомогою мас-спектрометричного методу?
9. Мас-спектрометричні течошукачі комплектують каліброваними дифузійними гелієвими течами, які відтворюють фіксований потік гелію, що дифундує з балона, який заповнений цим газом, через мембрану з кварцового скла . Доповніть цієї інформацією каузальну мережу.
10. Чим можна пояснити, що метод мас-спектрометрії є найбільш поширеним та найчастіше використовується у промисловості ?
11. Побудуйте каузальну мережу з блоку „Фізичні основи”.
12. Користуючись додатковою літературою, побудуйте мережу будь-якого іншого методу контролю герметичності.



Фізичні основи (КК)

В'язкість, внутрішнє тертя – властивість текучих тіл (рідин і газів) чинити опір переміщенню однієї їх частини щодо іншої . Розрізняють в'язкість відносну, динамічну, кінематичну, ньютонівську, питому, приведену і структурну

Поверхневий натяг, σ – фізичне явище, суть якого в прагненні рідини скоротити площу своєї поверхні при незмінному об'ємі. Характеризується коефіцієнтом поверхневого натягу, який визначається як сила, що діє з боку рідини на одиницю довжини контуру, що її обмежує



Змочуваність – властивість рідини взаємодіяти з твердою поверхнею; визначається кутом змочування Θ в системі трьох фаз (твердої, рідкої і газової); коли $\Theta > 90^\circ$, рідина не розливається по поверхні твердого тіла або практично не змочує його

Проникаюча здатність - властивість пенетрантів та інших дефектоскопічних матеріалів проникати в капілярні дефекти

Засоби контролю (КК)

Пенетрант – дефектоскопічний матеріал, що володіє здатністю проникати в дефекти ОК і виявляти їх

Очисник – матеріал, призначений для видалення з поверхні ОК та з дефектів забруднень, що перешкоджають проникненню пенетрата

Очисник пенетранта – матеріал для видалення пенетранта з поверхні ОК самостійно або в поєднанні з орг. розчинником або водою

Гаситель пенетранта – матеріал для гасіння люмінесценції або кольору залишків відповідних індикаторних пенетрантів на поверхні ОК

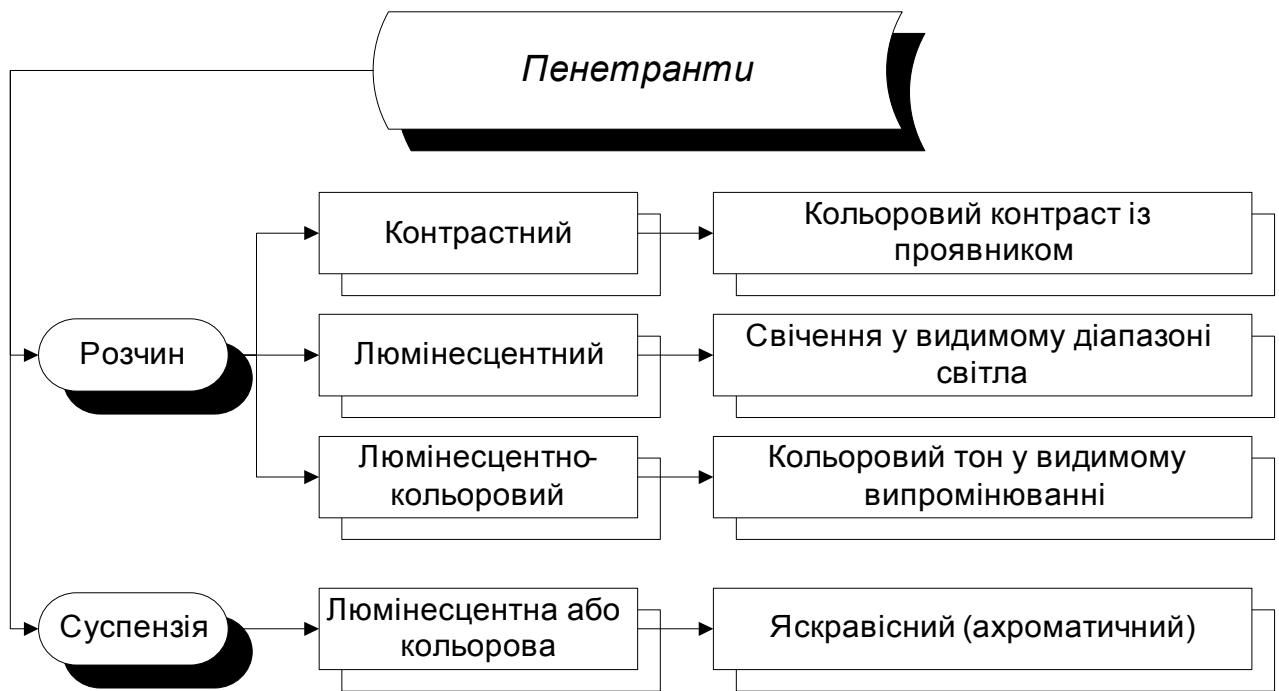
Проявник пенетранта – матеріал для вилучення індикаторного пенетранта з порожнини дефекта з метою створення чіткого індикаторного сліду

Емульгатор – матеріал для видалення незмивного пенетранта з поверхні ОК по завершенні процедури контролю

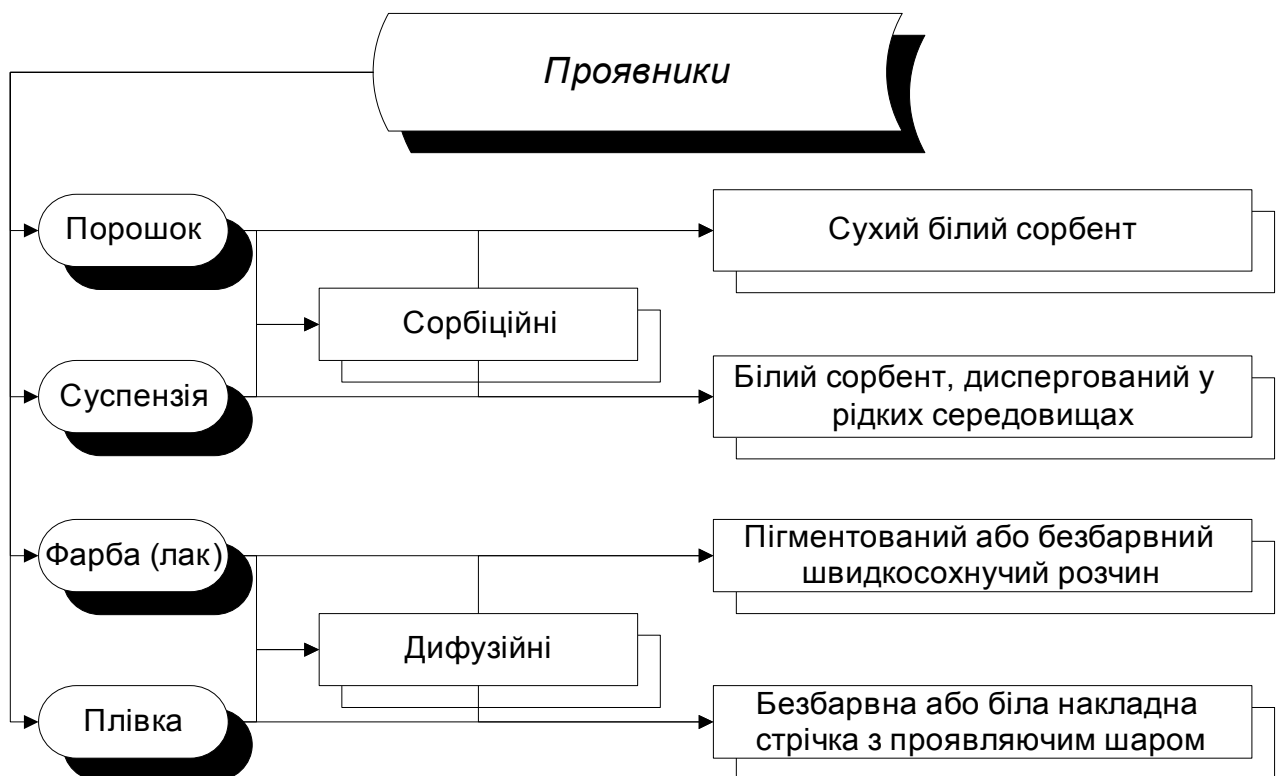


Дефектоскопічні матеріали (КК)

Пенетранти



Проявники



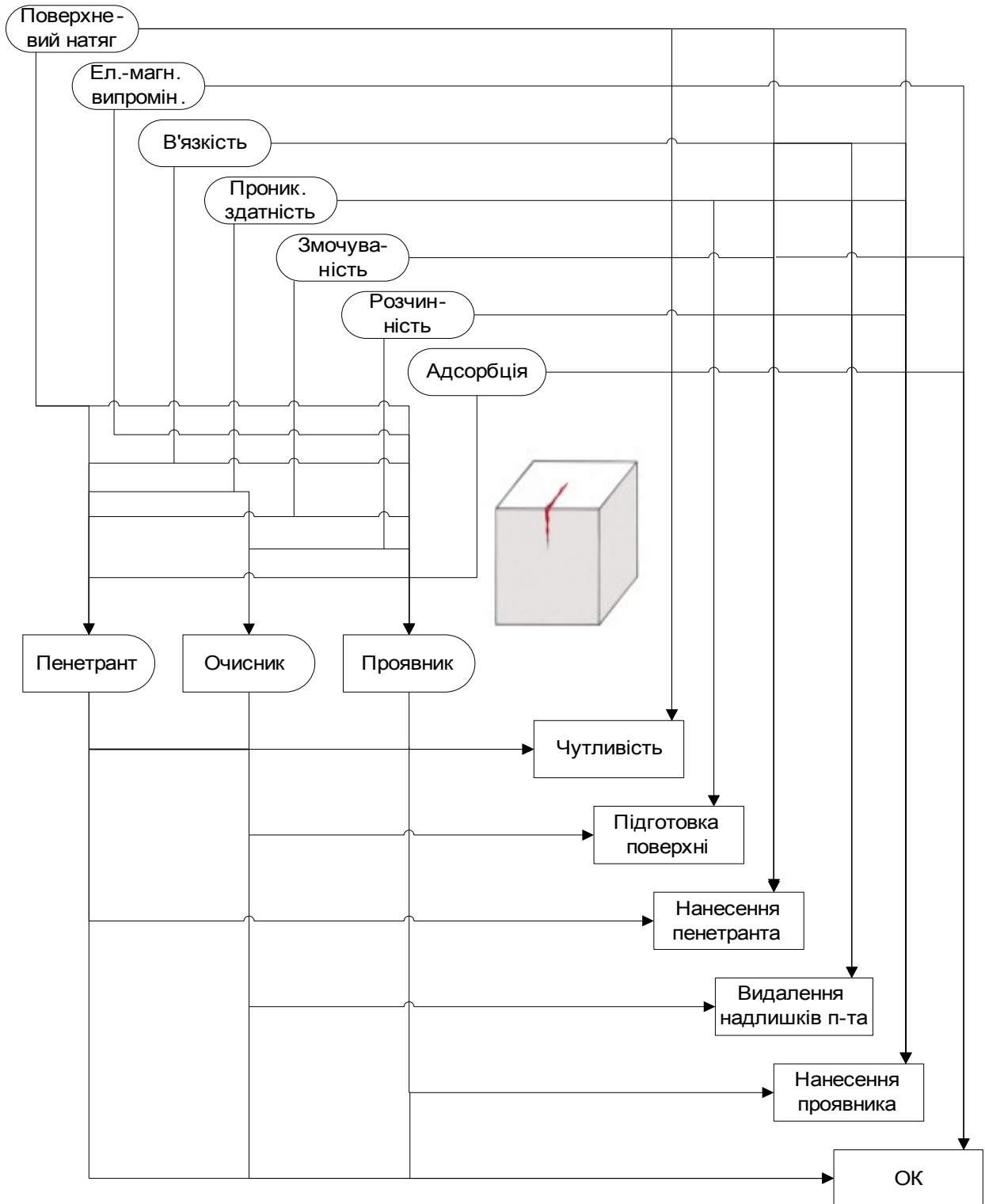


Капілярний контроль





Кольоровий метод





Питання з КМ

- 1. Як відомо, процес кольорового капілярного контролю складається з трьох етапів: нанесення рідкого пенетранта, який проникає в поверхневі дефекти; видалення надлишків пенетранта з поверхні ОК; нанесення проявника, що містить пігментну речовину, що сприяє "витягуванню" пенетранта з дефектів і одночасно слугує для підвищення контрастності. Якою, на Вашу думку, є універсальна формула вибору пенетранта?*
- 2. Яким є найефективніший спосіб нанесення пенетранта?*
- 3. Яким чином вийти з ситуації, коли ви маєте пенетрант такого ж самого відтінку, що й об'єкт, який необхідно проконтролювати.*
- 4. Найбільший вплив на якість контролю мають дві операції: видалення надлишків пенетранта та нанесення проявника. Поясніть, з чим це може бути пов'язано?*
- 5. Підготовка поверхні включає в себе очищення і сушку контрольованої поверхні і порожнин дефектів. Чи можна обмежитись для цієї операції лише хімічними методами (використанням очисника)?*
- 6. Яким чином температура впливає на всі операції капілярного контролю кольоровим методом?*
- 7. Чому для виведення надлишків пенетранта використовуються серветки без ворсу, які змочуються розчинником? Чи можна використовувати в якості розчинника воду?*
- 8. Запропонуйте можливі шляхи економії часу та зусиль на здійснення капілярного контролю кольоровим методом.*
- 9. Побудуйте каузальну мережу з блоку „Фізичні основи”.*
- 10. Користуючись додатковою літературою, доповніть представлену каузальну мережу та побудуйте мережу будь-якого іншого методу капілярного НК.*



Література до розділу

1. Боровиков А. С., Денель А. К. Технология и аппаратура капиллярной дефектоскопии / Под. редакцией А. С. Боровикова. – М.: Машиностроение, 1980. – 51 с.
2. Гетман А. Ф., Козин Ю. Н. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 228 с.
3. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытания на герметичность. Общие требования.: ГОСТ 24054-80. – М., 1980. – 8 с.
4. Контроль герметичности конструкций. Запунный А. И., Фельдман Л. С., Рогаль В. Ф. – К.: Техніка, 1976. – 152 с.
5. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Ключева. Т. 2: В 2 кн. Кн. 1: А. И. Евлампиев, Е. Д. Попов, С. Г. Сажин, Л. Д. Муравьева С. А. Добротин, А. В. Половинкин, Ю. А. Кондратьев. Контроль герметичности. Кн. 2: Ю. К. Федосенко, В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, Ю. Я. Останин. Вихретоковый контроль. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.
6. Неразрушающий контроль : Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Ключева. Т. 4: В 3 кн. – Кн. 1: В. А. Анисимов, Б. И. Каторгин, А. Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2: Г. С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3: М. В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
7. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Капілярний контроль зварних з'єднань. Критерії приймання.: ДСТУ EN 1289-2002. – К., 2002. – 9 с.
8. Неруйнівний контроль поковок із сталі. Частина 2. Капілярний контроль.: ДСТУ EN 10228-2-2001. – К., 2005. – 11 с.
9. Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні вимоги.: ДСТУ EN 571-1-2001. – К., 2001 – 16 с.
10. Неруйнівний контроль. Контроль капілярний. Частина 2. Контроль дефектоскопічних матеріалів.: ДСТУ EN ISO 3452-2:2005. – К., 2005.
11. Неруйнівний контроль. Контроль капілярний. Частина 3. Контрольні зразки.: ДСТУ EN ISO 3452-3: 2005. – К., 2005.
12. Техника течеисскания. Термины и определения.: ГОСТ 26790-85. – М., 1985. – 8 с.

Загальні питання для самоконтролю

1. Дайте визначення неруйнівного контролю (НК) за ГОСТ 18353-79. Які види контролю він об'єднує?
2. На виявлення яких параметрів та дефектів спрямовується НК?
3. Наведіть приклади використання засобів НК у повсякденній діяльності.
4. Які вимоги до засобів НК вирізняють їх з-поміж інших засобів контролю?
5. Дайте визначення магнітного НК. Які методи контролю він об'єднує?
6. За якими напрямками використовуються магнітні методи НК?
7. Наведіть приклади автоматизованих засобів магнітного НК.
8. Розкрийте сутність магнітопорошкового методу магнітного НК.
9. Які об'єкти неможливо контролювати з використанням електричних методів НК?
10. На виявлення яких параметрів та дефектів спрямовується електричний контроль?
11. Які електричні перетворювачі Вам відомі?
12. Розкрийте сутність електропотенціального методу електричного НК.
13. Дайте визначення вихрострумowego НК. Які методи контролю він об'єднує?
14. За якими напрямками використовуються вихрострумові методи НК?
15. Запропонуйте напрямки, які не піддаються контролю вихрострумовим НК.
16. Порівняйте відомі Вам вихрострумові методи НК з трансформаторним.
17. На реєстрації змін яких параметрів заснований радіохвильовий контроль?
18. Що відрізняє та поєднує радіохвильовий контроль, магнітний, електричний, вихрострумовий?
19. Запропонуйте універсальну схему автоматизованого радіохвильового засобу НК.
20. Розкрийте сутність амплітудно-фазового методу радіохвильового НК.
21. Які методи контролю об'єднує тепловий НК?
22. Поясніть смисл поняття „абсолютно чорне тіло”. Які закони його описують?
23. Які схеми контролю тепловим НК Вам відомі.
24. Розкрийте сутність методу яскравісної пірометрії теплового НК.
25. Дайте визначення оптичного НК. Які методи контролю він об'єднує?
26. За якими напрямками використовуються оптичні засоби НК з лазерними джерелами світла?
27. Запропонуйте універсальну схему автоматизованого оптичного засобу НК.
28. Розкрийте сутність методу оптичної інтерферометрії оптичного НК.
29. Які види іонізуючих випромінювань Вам відомі?
30. За якими напрямками використовуються радіаційні методи НК?
31. З яких типових конструктивних елементів складається автоматизована рентгенівська апаратура, що використовується при радіаційному НК?
32. Розкрийте сутність методу нейтронної радіографії.
33. Дайте визначення акустичного НК. Які методи контролю він об'єднує?
34. Поясніть значення терміну „пружні хвилі”.
35. Які акустичні перетворювачі Вам відомі?
36. Розкрийте сутність дзеркально-тіньового методу.
37. Дайте визначення контролю проникаючими речовинами. Що відрізняє контроль герметичності від капілярного контролю?
38. За якими напрямками використовуються методи контролю проникаючими речовинами?
39. Розкрийте сутність методу мас-спектрометрії.
40. Розкрийте сутність кольорового методу капілярного НК.



Визначаєте мету контролю

Оцінюєте матеріально-технічні можливості

Аналізуєте останні дослідження та розробки

Використовуєте досвід спеціалістів

Визначаєте ефективний метод НК

Користуйтеся багатопараметровими методами

Вивчайте стандарти

Аналізуєте довідникову літературу з НК

Будуйте мисленнєві та писемні каузальні мережі

Використовуйте літературу з фізики, електротехніки, приладобудування та ін.

Визначаєте ймовірнісні перешкоди

Мисліть творчо

Конструюйте схеми пристроїв

Створюйте прилади

Спростуйте

Дотримуйтесь техніки безпеки

Проводьте вимірювання

Визначаєте похибки

Оцінюєте одержані результати вимірювань

Аналізуєте як невдачі, так і успіх

Вдосконалюйте та вдосконалюйтесь

Предметний покажчик

- Абсолютно чорне тіло 80
- Активність радіонукліда 112
- Амплітуда коливання 129
- Бугера-Ламберта-Бера закон 80
- Вакуум 144
- Вибірковий неруйнівний контроль 9
- Вид неруйнівного контролю 8
 - акустичний 127
 - вихрострумний 48
 - електричний 35
 - магнітний 20
 - оптичний 94
 - проникаючими речовинами 142
 - радіаційний 110
 - радіохвильовий 63
 - тепловий 78
 - - активний контроль 87
 - - пасивний контроль 87, 89
- Виробничий неруйнівний контроль 8
- Вихрові струми 49
- Відносний реактивний опір 49
- Відображення 96
- Властивості зору 97
- Вхідний неруйнівний контроль 9
- В'язкість 151
- Газовиділення 144
- Гармоніка 129
- Гістерезис магнітний 21
- Густина 144
- Дальтона закон 144
- Дефекти 12, 23, 40, 51, 68, 82, 99, 114, 142
- Деформація 128
- Динамічний енергетичний діапазон приладу 65
- Дисперсія світла 97
- Дифракція 96
- Діапазон радіохвиль 63
- Діелектрична проникність 37
- Добротність матеріалу 130
- Довжина вільного пробігу молекули 144
- Експлуатаційний неруйнівний контроль 8
- Електричний струм 36
- Електромагнітна взаємодія 49
- Енергетична сила випромінювання 96
- Енергетичний потік оптичного випромінювання 95
- Енергетичний спектр іонізуючого випромінювання 113
- Ефект зазору 50
- Ефективна магнітна проникність 49
- Ємність електрична 37
- Засоби контролю 9, 13
 - акустичного виду 131, 134
 - вихрострумного виду 55
 - електричного виду 38
 - капілярного контролю 151
 - контролю герметичності 145
 - магнітного виду 25
 - оптичного виду 100
 - радіаційного виду 117
 - радіохвильового виду 69
 - теплового виду 83
- Змочуваність 151
- Ізомери 112
- Імпеданс акустичний 130
- Індукція магнітна 21
- Інтерференція 96
- Іонізуючі випромінювання 111
- Класифікаційні характеристики матеріалів 10
- Когерентність 96
- Коерцитивна сила 21
- Коефіцієнт загасання 130
 - зв'язку між елементами радіохвильового перетворювача 64
- неоднорідності 65
- поглинання 130
- розсіювання 130
- стоячої хвилі 65
- Колівальна швидкість 129
- Комплексний опір обмотки 49
- Конвекція 79
- Контраст 96
- Корпускулярне випромінювання 111
- Крайовий ефект 50
- Крива намагнічування 21
- Максвелла рівняння 64
- Метод неруйнівного контролю 8
 - акустико-емісійний 136
 - акустико-топографічний 136
 - акустичний 146
 - амплітудний 66
 - амплітудний тінювий 136
 - амплітудно-фазовий 74
 - ахроматичний 146
 - бульбашковий 146
 - вакуум-метричний 146
 - велосиметричний 136
 - вібраційно-діагностичний 136
 - галогенний 146
 - геометричний 66
 - голографічний 66
 - дельта-метод 136
 - дзеркально-тінювий 136, 138
 - дифракційно-часовий 136
 - екзоелектронної емісії 42
 - електроємнісний 42
 - електроіскровий 42
 - електроно-захоплювальний 146
 - електропараметричний 42
 - електропотенціальний 42, 44
 - ефекту Холла 28
 - ехо-дзеркальний 136
 - ехо-метод 136
 - ехо-наскрізний 136
 - ехо-тінювий 136

Предметний покажчик

- згинних хвиль 136
- індукційний 28
- інтегральний 136
- капілярно-електроіндуктивний 153
- капілярно-електростатичний 153
- капілярно-магнітопорошковий 153
- капілярно-радіаційного випромінювання 153
- капілярно-радіаційного поглинання 153
- катарометричний 146
- кольоровий 153
- контактного імпедансу 136
- контактної різниці потенціалів 42
- лазерної інтерферометрії 106
- локальний 136
- люмінесцентний 153
- люмінесцентно-кольоровий 146, 153
- магнітографічний 28
- магнітопорошковий 28, 30
- магніторезисторний 28
- манометричний 146
- мас-спектрометричний 146, 148
- нейтронної радіографії 122
- плазмовий 146
- повздовжніх хвиль 136
- поляризаційний 66
- пондеромоторний 28
- проникаючих розчинів 153
- ревербаційний 136
- рекомбінаційного випромінювання 42
- термоелектричний 42
- трансформаторний 59
- трібоелектричний 42
- фазовий 66
- ферозондовий 28
- фільтрівних суспензій 153
- хімічний 146
- часовий 66
- часовий тіньовий 136
- шумодіагностичний 136
- яскравісний 153
- яскравісної пірометрії 90
- Методичний документ з неруйнівного контролю 9
- Намагніченість 22
- Намагнічування види 26
- Напруга електрична 36
- Напруженість електричного поля 36
- Неруйнівний контроль 7
- Нуклід 111
- Обсяг неруйнівного контролю 8
- Об'єкт неруйнівного контролю 8
- Об'ємна витрата газу 144
- Однорідне середовище 128
- Операційний неруйнівний контроль 9
- Опір електричний 36
- Опресування 144
- Оптичне випромінювання 95
- Освітлення об'єкту контролю 98
- Основні параметри неруйнівного контролю 9
- Період коливання 129
- Період напіврозпаду 112
- Поверхневий натяг 151
- Поглинання електромагнітного випромінювання 96
- Поле іонізуючого випромінювання 113
- Поле розсіювання 22
- Потік газу 144
- Потік іонізуючих часток 113
- Провідність електрична 36
- Прозорість середовища 80
- Променистість 96
- Проникаюча здатність 151
- Проникність магнітна 22
- Пружна анізотропія 128
- Пружне середовище 128
- Пружні коливання 129
- Пружність 128
- Радіоактивне джерело 112
- Радіоактивність 111
- Радіоактивного розпаду закон 112
- Радіовипромінювання 63
- Радіопрозорий матеріал 65
- Результат неруйнівного контролю 8
- Результуюче магнітне поле 49
- Рефракція 97
- Розмагнічування способи 27
- Розсіяння світла 97
- Сила пружна 128
- Силкові лінії магнітні 22
- Скін-ефект 22
- Суцільний неруйнівний контроль 9
- Сприйнятливність магнітна 22
- Струм збудження вихрострумowego перетворювача 50
- Теплове випромінювання 79
- Теплопровідність 79, 81
- Тиск 144
- Узагальнений параметр вихрострумowego контролю 50
- Фаза коливання 129
- Фазовий кут сигналу 50
- Фахівець у галузі неруйнівного контролю 9
- Феромагнітний матеріал 21
- Фотон 95
- Хвилі акустичні 132
- Цикл коливання 129
- Частота коливань 129
- Швидкісний ефект 50
- Щільність електричного струму 36

Навчальне видання

Неруйнівний контроль технічних об'єктів у схемах

Лазарєв Микола Іванович
Шматков Даніїл Ігорович

Формат 60x84 1/16 Умов. друк. арк. 8,89. Тираж 300 прим.

© Українська інженерно-педагогічна академія

61003, м. Харків, вул Університетська, 16