

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Галько Валентин Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.2.

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: Контроль вузлів газокompресорних станцій раліаційним методом
(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

_____ Галько В.Б.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Боднар Роман Тарасович , к.т.н., доцент

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІВТ

Проф. _____ **О. Є. Середюк**
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м. Івано-Франківськ – 2024 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування закладу вищої освіти)
;Інститут інформаційних технологій

кафедра інформаційно-вимірювальних технологій____
Освітній рівень магістр_____
Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології
_____ (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІВТ_____
О. Є. Середюк
« ____ » _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_ Галько Валентин Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Контроль вузлів газокompресорних станцій раліаційним методом.

Керівник роботи Боднар Роман Тарасович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти 787/7 від "02" 12. 2024 року
№ _____

2. Термін подання студентом роботи "16" 12. 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: діаметр стикувальних вузлів трубопроводів 1,0 м;
умови польові _

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз об'єкту контролю, існуючих методів і приладів контролю
необхідних параметрів. Теоретичне обґрунтування методу контролю.
Розробка методики контролю. Розробка конструкції установки.
Метрологічний аналіз розробки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Теорія методу (A1) ; Функціональна структурна схема установки (A1);).
Загальна конструкція. Складальне креслення установки (A1); Метрологічне
забезпечення установки. (A1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.11.2024_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд методів і засобів контролю	01.11.24-12.11.24	
2.	Теоретичне обґрунтування методу контролю	12.11.24-22.11.24	
3.	Розробка конструкції установки	22.11.24-30.11.24	
4	Розробка методики контролю	30.11.24-05.12.24	
5	Метрологічний аналіз	05.12.24-08.12.24	
6.	Оформлення роботи	08.12.24 – 16.12.24	

Студент _____ . Галько В.Б.
(ініціали) (підпис) (прізвище та

Керівник роботи _____ Боднар Р. Т.
(ініціали) (підпис) (прізвище та

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: с, 6 рисунків, таблиць, 2 додатки,
17 джерел, 8 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження - вузли газокompресорних станцій.

Мета роботи - розробка автоматизованої установки рентгенографічного контролю.

Метод дослідження - дослідження вузлів газокompресорних станцій радіографічним методом неруйнівного контролю.

В даній магістерській роботі розроблено радіографічну установку для контролю вузлів газокompресорних станцій. Здійснено метрологічний аналіз спроектованої установки рентгеноскопічного контролю в цілому.

γ -ДЕФЕКТОСКОП, РЕНТГЕНОГРАФІЧНИЙ КОНТРОЛЬ,
ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ,
ЕНЕРГІЯ ФОТОНА, ЕТАЛОН ЧУТЛИВОСТІ.

THE ABSTRACT

Diploma project: 140p., 6 figures, 8 tables, 2 appendices, 17 sources, 8 sheets draftings..

Object of research - the knots of the gascomprassers stations.

The purpose of work - designing of the automated setting of sciagraphy control.

Research reception - research of knots of the gascomprassers stations by the radiograferre method of undestructive control.

In this diploma project the setting is radiograferre developed the control of knots of the gascomprassers stations. Is carried out metrologi the analysis of the designed system x-ray of the analysis as a whole.

FAULT γ - DETECTOR, SCLAGRAPHY CONTROL, IONIZING RADIATION, RADIATION CONTROL, ENERGY OF PHOTON, STANDARD OF SENSITIVENESS.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз існуючих методів контролю якості стикувальних вузлів Газокомпресорних станцій.....	11
1.1 Напрямки в діагностиці.....	11
1.2 Аналіз існуючих методів неруйнівного контролю та постановка задачі дипломного проекту.....	15
1.2.1 Візуальний контроль і капілярна дефектоскопія.....	15
1.2.2 Ультразвукова дефектоскопія.....	17
1.2.3 Електромагнітні-методи контролю.....	19
1.2.4 Радіаційні методи контролю.....	22
1.2.5 Порівняльний аналіз і постановка задачі дипломного проектування.....	24
2 Розробка установки для радіаційного контролю стикувальних вузлів газокомпресорних станцій.....	26
2.1 Теоретичні основи неруйнівного радіаційного контролю.....	26
2.1.1 Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.....	26
2.1.2 Застосування теорії лінійної фільтрації до системи радіаційного контролю	44
2.1.3 Вибір і обґрунтування режимів просвічування.....	54
2.1.4 Компенсаційні стабілізатори напруги постійного струму з безперервним регулюванням.....	61
2.2 Розробка електричної принципової схеми установки для радіаційного контролю стикувальних вузлів газокомпресорних станцій. Розрахунок стабілізатора напруги і радіатора.....	76
2.2.1 Розробка принципової електричної схеми.....	76

2.2.2 Розробка друкованої плати.....	78
2.2.3 Розрахунок схеми компенсаційного стабілізатора напруги з неперервним регулюванням-.....	81
2.2.4 Розрахунок радіатора.....	86
2.3 Розробка складального креслення тримача для фіксації колімаційної головки.....	88
2.4 Розробка структурної схеми установки для радіаційного контролю стикувальних вузлів газокompресорних станцій.....	89
2.5 Методика проведення неруйнівного контролю стикувальних вузлів газокompресорної станції радіографічним методом.....	90
2.5.1 Підготовка до проведення контролю.....	90
2.5.2 Методика проведення просвічування.....	92
2.5.3 Методика визначення розмірів дефектів.....	93
2.5.4 Обробка результатів.....	93
2.5.5 Оформлення результатів вимірювання.....	94
3 Метрологічний аналіз системи радіаційного контролю вузлів газокompресорних станцій.....	95
3.1 Різновидності похибок.....	95
3.2 Складові похибки схеми нагромадження.....	103
3.3 Розрахунок відносної чутливості.....	104
Висновки.....	
Перелік посилань на джерела.....	
Додатки.....	
Бібліографічна довідка.....	

ВСТУП

Згідно визначення, даного в ДСТУ 20911-80, під технічною діагностикою розуміється галузь знань, що досліджує технічний стан об'єктів діагностування і прояви технічних станів, яка розробляє методи їх визначення, а принципи побудови і організацію використання систем діагностування. Головним завданням технічної діагностики є попередження, пошук і локалізація аварійних станів елементів трубопровідних систем. Надійність роботи газопроводів залежить не тільки від кількості аварійних ситуацій, але і від того, як конструктивно і організаційно забезпечуються швидке знаходження і локалізація несправності, визначення причин їх появи і прогнозування фактичного стану агрегатів, лінійної частини й обладнання як у період нормальної експлуатації, так і в аварійних ситуаціях.

Для успішного вирішення завдань, пов'язаних із підвищенням надійності роботи газопроводів, необхідно розробляти і впроваджувати в практику нові засоби технічної діагностики, що дають змогу визначити стан елементів газопроводів без розбирання їх шляхом вимірювання об'єктивних характеристик (тиску, температури, вібрації, напруженого стану, частоти обертання, пропускної здатності та ін.). Це дозволить значно зменшити обсяг робіт по технічному обслуговуванню і ремонту обладнання та цілих технологічних установок.

Застосування методів регулярної діагностики обладнання дає змогу зменшити витрату запасних частин, вартості поточних ремонтів (завдяки точнішому знанню технічного стану об'єкта і збільшенню міжремонтного періоду), витрату палива, розмір фонду оплати праці, зменшити робочий

шлях машин і технологічних установок (насосних агрегатів, компресорів та ін.).

Діагностування включає в себе три послідовних етапи: вимірювання, аналіз і прийняття рішення. Діагностика трубопровідних систем у даний час має принципово важливе значення в зв'язку з тим, що вона стає головним джерелом інформації про її технічний стан та про ті процеси, що проходять у ній: стан корозійних пошкодженні», стан вібрації, наявність тріщин у конструкції, інші дані. Роль діагностики безперервно зростає у міру розробки і впровадження автоматизованих систем управління (АСУ) трубопровідним транспортом. Характерною рисою діагностичного процесу є аналіз стану трубопровідної системи, що дає змогу уточнити і локалізувати місце аварії чи окремої ділянки (елементу) системи, що знаходяться в аварійному стані. Оцінка проміжного стану системи в різні моменти часу дає змогу встановити, які параметри, що характеризують працездатність системи або окремих її елементів, наближаються до межі допуску, визначити динаміку їх зміни, що викликані в більшості випадків зносом або старінням, та звернути увагу на ті елементи, які найбільше піддалися таким змінам. На основі оцінки поточного технічного стану трубопровідної системи прогнозується довговічність її роботи, визначаються оптимальні строки її ремонту її обслуговування. Це необхідно для визначення об'єму і структури ремонтних циклів та інтервалів між перевірками обладнання.

Надійна робота трубопроводу, що включає лінійну частину, агрегати і вузли компресорних і газорозподільних станцій, повинна забезпечуватися на всіх етапах його створення:

На стадії проектування, коли проходить вибір конструкції вузлів, систем, труб, арматури й обладнання. На стадії підготовки виробництва і будівництва трубопроводу, яка є найбільш відповідальною в процесі

створення трубопроводу. На цій станції мають бути виконані роботи по контролю якості труб, дефектів монтажу, зварювання та антикорозійної ізоляції, а також одержані всі необхідні дані для майбутньої оцінки ресурсу трубопроводу. Великий обсяг робіт треба виконати під час експлуатації трубопроводів.

Зміщення ґрунтів, корозія металу труб, зміна температури ґрунту і продукту, що транспортується, "старіння" металу труб і цілих вузлів — усе це значно впливає на працездатність труб, агрегатів, установок.

Однією з найважливіших операцій на цьому етапі повинна бути оцінка залишкового ресурсу труб лінійної частини, окремих вузлів і агрегатів на трубопроводі.

Велике значення для забезпечення надійності трубопроводу має якість виконання ремонтно-відновлюваних робіт (технологія монтажу, якість зварювання та ізоляційного покриття, технологія засипки відремонтованої ділянки та ін.). Кінцевою частиною системи забезпечення безпечної експлуатації трубопровідного транспорту повинна бути автоматизована система виявлення і попередження аварійних ситуацій. Завдання цієї системи - своєчасно виявити аварійно-небезпечну ділянку, визначити ступінь небезпеки ситуації, що склалася, дати можливість перекрити небезпечну ділянку, забезпечити подачу продукту по інших ділянках на час ліквідації аварійної ситуації. Поняття діагностика і дефектоскопія вузлів газокompресорних станцій є різними за своєю суттю. Дефектоскопія тільки знаходить дефекти, а під діагностикою розуміють оцінку із заданою величиною ймовірності стану конструкції (об'єкта) за основними ознаками, що характеризують можливість її функціонування (експлуатації).

Об'єктом дослідження є процес поширення іонізуючого випромінювання в середовищах та взаємодії іонізуючого випромінювання з різними матеріалами .

Предметом дослідження є способи контролю якості досліджуваних виробів.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні ефективного використання іонізуючого випромінювання з метою оцінки якості циліндрів гідроприводів.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СТИКУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ГКС

1.1 Напрямки в діагностиці

На даний час склалися і незалежно одна від однієї розвиваються два напрями неруїнівного контролю і технічної діагностики:

перший напрямок - за непрямими (побічними) ознаками;

другий напрямок - діагностика прямими методами.

У першому випадку рішення про стан трубопроводу приймаються групою експертів за деякими побічними ознаками, отриманими в процесі його експлуатації:

- зменшення товщини стінки труб;

- відсутність або негативний вплив катодної поляризації;

- стан ізоляційного покриття і величина корозійних пошкоджень металу труб;

- зміщення ґрунтів і зміна геометрії труби;

- стабільність тиску в трубопроводі та інші характеристики, кожна з яких або їх сукупність не дають змоги прийняття рішення про стан трубопроводу.

При цьому рішення приймається групою експертів із певним ступенем достовірності і вона буде невисокою, у середньому на рівні 5-10 %.

У другому випадку оцінка стану трубопроводу виконується на основі аналізу й обробки наявної інформації з діючого об'єкта, яка дозволяє приймати рішення, використовуючи математичні і фізичні моделі, що оцінюють працездатність трубопроводу. До таких моделей відносяться:

- загальні теорії миттєвої міцності, куди входять дані про напружений стан (деформований) ділянки трубопроводу, характеристика його геометрії та матеріалу сталі труб;

- моделі механіки руйнування, що передбачають необхідність вимірювання напруженого стану труб у місцях дефектів, конфігурації дефектів і їх орієнтації, знання механічних характеристик матеріалу поблизу дефекту,

- моделі квантової механіки руйнування, коли інтегральні ознаки утворення осередків руйнування і їх розвиток (наприклад, пружні хвилі деформацій, що відповідають руйнуванню) можуть бути зафіксовані і розшифровані.

Точність оцінки стану трубопроводу в наведених двох випадках (моделях) набагато вища, але і тут вона не перевищить 80 - 85 %.

У трубопроводному транспорті є два основних способи отримання інформації для діагностики.

1) внутрішній, коли у середині, трубопроводу пропускаються спеціальні установки (лайналоги), які мають відповідну вимірювальну апаратуру і які видають необхідну інформацію для спрацювання тієї чи іншої моделі, що описує процес руйнування матеріалу труби; але, на жаль, у даний час на цих установках немає приладів, які б давали можливість приймати рішення, використовуючи методи прямого діагностування. При такому способі найбільш надійно виконується вимірювання лише товщини стінки труб - важливого, але не достатнього параметру для прийняття прямого рішення про стан трубопроводу.

У майбутньому планується вимірювання відхилення осі трубопроводу від проектного положення, що дасть можливість після перерозрахунку визначити діюче в трубопроводі напруження. Але ці розрахунки будуть неточними, тому що з часом в трубопроводі протікають

релаксаційні процеси, через що дані розрахунку можуть бути не реальними. Необхідні прямі методи вимірювання напруження. Планується оснащення таких установок (лайналогів) апаратурою для вимірювання наявності і розмірів тріщин. Невеликий досвід застосування такого способу діагностування в Україні, Росії, Англії, Німеччині, Канаді показав, що чутливість його ще не достатня для повноцінної оцінки реального стану трубопроводу і прогнозування надійності його функціонування. Внутрішній спосіб діагностики має такі недоліки:

- велика вартість діагностування (2-3 тис. доларів США за 1 км.);
- спосіб непридатний для діагностування трубопроводів малих діаметрів (менше 400 мм) і трубопроводів, що побудовані за нормами проектування до 1970 року, які не обладнані спеціальними вузлами пуску і прийому очисних пристроїв;
- на період пропуску лайнолога необхідно обмежувати (зменшувати) обсяг транспортування продукту, трубопроводу, оскільки максимально дозволена швидкість його руху по трубопроводу не повинна перевищувати 4 м/сек; 2) зовнішній спосіб, при якому обладнання працює, у сприятливіших умовах, ніж внутрішньотрубне. Але за цим способом важко проводити вимірювання на підземних ділянках трубопроводів. В окремих випадках, при спеціальному розкопуванні невеликих ділянок трубопроводу, цей спосіб може застосовуватись і для підземних трубопроводів.

При цьому способі діагностики можуть бути використані набори приладів або апаратури для виконання прямих вимірювань. Сюди відносяться прилади для вимірювання напруженого стану (магнітні на основі ефекту Баркгаузена, ультразвукові), апаратура для виявлення дефектів (акустико-емісійна, ультразвукова, рентгенівська), апаратура для оцінки стану об'єкта (акустико-емісійна). Найбільш готовою для

застосування при технічній діагностиці трубопроводів є апаратура акустичної емісії (АЕ), хоч методи її застосування складні і вимагають кваліфікованого підходу. Але така апаратура виготовляється серійно для будь-яких умов експлуатації і вона проходить опрацювання на реальних газонафтопроводах. Метод АЕ ґрунтується на аналізі пружних акустичних хвиль, що генеруються матеріалом у процесі деформування і руйнування. Активні дослідження процесів деформування, пошкодження і руйнування матеріалів цим методом ведуться з другої половини 20 століття, що пов'язано з появою та швидким розвитком неруйнівних методів контролю і діагностики, від яких метод АЕ вигідно відрізняється відсутністю зовнішнього джерела збудження, оскільки джерела АЕ знаходяться в самому матеріалі.

Для виконання вимірювань методом АЕ на ділянці трубопроводу з метою прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації його в ІЕЗ ім. Платона НАН України розроблено і виготовлено 12-канальну апаратуру ЕМА, що монтується в мікроавтобусі та складається з:

- 8-канальної апаратури, яка приймає інформацію АЕ;
- 4-канальної апаратури, що дає змогу отримувати інформацію про зміни внутрішнього тиску, температури, напруження в матеріалі конструкції, механічні властивості матеріалу в момент проведення вимірювань;
- перетворювачів сигналу АЕ.

Обладнання і методика випробувань атестовані Держкомітетом України по стандартизації, метрології та сертифікації, погоджені з Комітетом по нагляду за охороною праці України.

Інші методи прямої оцінки - технічної діагностики труб вимагають розробки спеціальних приладів і оснащення. Для деяких із них, наприклад

таких, як визначення механічних властивостей матеріалу труб без руйнування, у даний час немає пропозицій на розробку.

У майбутньому перед ученими й інженерами поставлено завдання розробки та вдосконалення вимірювальних систем, приладів і обладнання:

- для внутрішньотрубних снарядів, які б працювали у безперервному і кроковому режимах;
- зовнішніх носіїв - встановлених на вертольотах, всюдиходах, супутниках[1].

1.2 Аналіз існуючих методів неруйнівного контролю та постановка задачі магістерської роботи.

1.2.1 Візуальний контроль і капілярна дефектоскопія.

Всі види неруйнівного контролю починаються з зовнішнього огляду об'єкта. Дія даного методу залежить від ступеня чистоти поверхні, освітленості, кваліфікації дефектоскопіста.

Зовнішньому контролю підлягає зварний шов і зона, прилягаючого до нього основного металу на відстані не менше 20 мм від границі шва, а також всі видимі частини стикувальних вузлів трубопроводу. Порівняємо методи НК на прикладі контролю зварног шва.

За допомогою візуального контролю виявляються тріщини, пори, шлакові включення, кратери визначаються місця, які потенціально містять внутрішні дефекти, що виходять на поверхню.

Зовнішній огляд здійснюється за допомогою оглядової або вимірювальної лупи 4 . . . 10-кратного збільшення. Зварені шви, недоступні Я; прямому спостереженню, оглядають за допомогою ендоскопів.

Для вимірювання конструктивних елементів зварених швів використовується універсальний шаблон зварника, призначений для контролю якості зварених елементів. Універсальний шаблон дозволяє

контролювати глибину раковин, глибину вмятин, кути скосу і величину притуплення країв, а ще ширину зазору, перевищення країв, форму і глибину розділа етика.

Для вимірювання висоти зовнішнього шва труб діаметром 530...1620 мм використовують індикатор годинникового типу зі скобою, яка має базу 30 мм.

Часто візуальний контроль виконується за допомогою індикаторів проникаючих речовин (пенетрантів). Виділяють три частини капілярної дефектоскопії. Перша з них полягає в обробці поверхні кольоро- або світлоконтрастними пенетрантами, які під дією капілярних сил втягуються в дефект. Другий етап - проявка дефектів, тобто одержання з дефектів пенетранта на поверхню. Це досягається за рахунок сорбційних якостей проявляючих речовин і явищ дифузії. Третя частина - індикація дефектів за кольоровими плямами пенетранта в місцях його виходу на поверхню.

Використання в капілярній дефектоскопії явищ сорбції, дифузії, люмінесценції, кольорового контрасту полегшує виявлення мікротріщин, підвищує чутливість.

Основною частиною пенетранта частіше за все є гас, що відрізняється: доброю розчинністю маслянистих плівок, які звичайно вкривають поверхню матеріалів; нерозчинністю в воді; відсутністю корозійної дії.

Неорганічні забруднення виводять миючими засобами, розчиненими в воді, органічні - бензином, ацетоном. Очищена поверхня повинна бути підсушена нагріванням до 100...120°C.

Для кращого ефекту, на досліджувану поверхню, пенетрант наносять розпоршувачем, пензлем або занурюванням. Час витримки поверхні під дією пенетранта коливається від 5 до 20 хвилин. Для

підвищення чутливості контролю використовують вакуум, надлишковий тиск, вібрацію або їх комбінацію.

При кольоровій дефектоскопії пенетрант може складатися, наприклад, з 8% гасу, 15% трансформаторного масла, 5% скипідару і 10 г фарби.

Очистку поверхні від залишків пенетранта проводять, наприклад, змиванням теплим (40...50°C) 5%-м розчином кальцинованої соди до зникнення забарвленого або фону поверхні, яку потім сушать, що світиться.

Проявку дефектів виконують при кольоровій дефектоскопії, наприклад, нанесення на поверхню звареного з'єднання розпорошувачем тонкого рівномірного шару каолінової суспензії в воді або етиловим спиртом.

В методах капілярної дефектоскопії операцію проявки можна виконувати шляхом створення короткочасного (5... 10 с) форвакуума ($P \leq 380$ мм рт. ст.) над досліджуваною поверхнею. Дякуючи вакууму, в місцях наскрізних і нескрізних дефектів виникає результуючий тиск повітря, що діє на пенетрант в напрямку виходу дефектів на досліджувану поверхню. Це дозволяє збільшити розмір індикаторних слідів за малий період часу. В результаті досягається підвищення чутливості і продуктивності.

Капілярну дефектоскопію найбільш доцільно застосовувати для контролю зварених з'єднань з немагнітних матеріалів.

1.2.2 Ультразвукова дефектоскопія. Пружні хвилі можуть бути збуджені в газоподібних, рідких і твердих середовищах. При цьому, завдяки наявності в пружному середовищі пружних міжмолекулярних

сил, коливальний рух збуджених частинок визначається коливаннями сусідніх частинок.

Якщо уявити собі середовище з малих частинок, з'єднаних між собою пружними силами, то ці частинки можуть рухатися відносно свого положення рівноваги. Якщо таку частинку вивести із положення рівноваги, то вона починає коливатися і ділитися своєю енергією із сусідніми частинками. Отже, енергія від частинки до частинки розповсюджується в середовищі.

В залежності від напрямку коливання частинок в хвилі по відношенню до напрямку розповсюдження ультразвуку в твердому тілі можуть виникати різноманітні типи хвиль. Якщо коливання частинок середовища відбуваються в напрямку розповсюдження хвилі, то такі хвилі називаються повздовжніми.

Повздовжню хвилю можна збудити в зразку, наприклад, якщо близькі до поверхні частинки змусити коливатися перпендикулярно до його поверхні. Перший шар частинок відхилиться і передасть енергію на наступні шари. Якщо б частинки були жорстко зв'язані між собою, то всі шари частинок відхилилися б одночасно, тобто вони рухалися б в одній фазі. Оскільки частинки середовища зв'язані одна з одною не жорстко, а пружно, то необхідно час для передачі коливань від шару до шару, і тому кожен наступний шар збуджується пізніше за попередній.

В твердих тілах, що володіють зсувною пружністю, можуть розповсюджуватися поперечні хвилі. В випадку поперечних хвиль частинки здійснюють коливання не в напрямку розповсюдження хвилі, а перпендикулярно до нього. Частинки середовища в цьому випадку під дією зовнішніх сил, періодично (синусоїдально) вимірюваних за часом, здійснюють гармонічні коливання. Така хвиля розповсюджується,

наприклад, вздовж струни, а зміщення зміщення точок струни виникає в напрямку, перпендикулярному до струни.

Акустичні методи контролю охоплюють діапазон частот коливань від одиниць герц до десятків' мегагерц і поділяються на звукові від 1 до 20 кГц і ультразвукові - вище 20 кГц.

В загальному описати ультразвуковий контроль можна так: акустична хвиля, що випромінюється акустичним перетворювачем в зварну деталь, зустрівши на своєму шляху перешкоду в виді дефекта, частково відбивається в зворотньому напрямку, де може бути зареєстрована за допомогою перетворювача (в режимі прийома), а частково - зеркально від дефекта і може бути прийнята перетворювачем-приймачем. За допомогою перетворювача-приймача може бути зафіксовано ослаблення акустичних хвиль.

При ультразвуковому контролі використовують три основні методи, відмінні один від одного по признаку знаходження дефекта: тіньовий метод, луно-метод, дзеркально-тіньовий метод.

Тіньовий метод іноді називають методом наскрізного лрозвучування. Джерело і приймач розділені. Дефект на шляху ультрозвукових - хвиль послаблює сигнал, що приймається.

При луно-методі акустичний перетворювач генерує короткий ультразвуковий - імпульс, що відбивається від дефектів, поверхні виробу і інших неоднорідностей, а далі приймаючийся тим же чи іншим перетворювачем. За тимчасовою розгорткою можна фіксувати час приходу сигналів і розрізнати сигнали, що приходять від дефекта і від протилежної поверхні об'єкта.

При дзеркально-тіньовому методі контроль ведеться луно-методом, але ознакою наявності дефекту служить послаблення донного сигналу.

1.2.3 Електромагнітні методи контролю

Для всіх електромагнітних методів характерна наявність полезадаючої системи, магнітного поля дефекту і пристрій для його знаходження. Для електромагнітних засобів контролю якості металічних виробів використовується широкий спектр частот, починаючи від постійного магнітного поля закінчуючи змінними полями з частотами десятків МГц.

Методи електромагнітного контролю, які основані на зміні реакції вихрових струмів, що утворюються на поверхні виробу, називаються вихрострумовими. За їх допомогою контролюють електропровідні матеріали.

Різноманітні методи контролю феромагнітних матеріалів, основані на намагнічуванні досліджуваного масива, називаються магнітними. За методом реєстрації магнітних полів розсіювання, виникаючих в зоні розташування дефектів, магнітні методи поділяються на магнітопорошковий, магнітографічний, ферозондовий, ^ індукційний, магнітоакустичний, магнітоелектричний та інші. Кожен з методів має свої різновиди. Наприклад, магнітопорошковий метод може бути у деяких виконаннях: на контрольовану поверхню наноситься сухий порошок або феромагнетик, розподілений в суспензії, порошок може наноситись безпосередньо на поверхню досліджуваного виробу або знаходиться в спеціальних лінзах, які переміщуються над поверхнею намагніченого виробу.

Результати магнітографічного контролю можуть реєструватися в вигляді зображення на телевізійному екрані.

Принциповою відмінністю магнітних методів від вихрострумових являється обов'язкове намагнічування досліджуваного феромагнітного

виробу. При цьому на поверхні деталі в зоні знаходження дефекта виникає магнітне розсіяння дефекта.

Найбільш поширеним методом реєстрації полів розсіяння дефектів являється знаходження їх за допомогою індуктивної котушки, магнітного порошка, магнітної стрічки, датчики Холла, магнітних напівпровідникових елементів, ферозондів, індукційних головок, магнітоакустичних перетворювачів.

Якщо сила електричного струму в обмотці збудження змінюється по синусоїдальному закону, то ЕРС, що наводиться в вимірювальній котушці, яка знаходиться над дефектом, визначається за формулою

$$E = \mu_0 W S H_m \cdot \cos \omega t \quad (1.1)$$

Де W - число витків в котушці; S - переріз котушки; H_m - максимальна напруженість магнітного поля; ω - кругова частота. Для підвищення чутливості паралельно вимірювальній котушці включають конденсатор. Утворюється резонансний контур, який налаштовують на певну частоту.

Для вимірювання постійних магнітних полів коло вимірювальної котушки повинно періодично розмикатися. Цей метод не знайшов широкого застосування в дефектоскопії. Ефективнішим виявився магнітоакустичний метод, коли вимірювальна котушка наклеюється на пластину з феромагнетика з сильно розвинутим магнітострикційним ефектом. В пластині збуджуються коливання, які передаються наклеїній на неї вимірювальній котушці. ЕРС, що наводиться в котушці, має частоту вказаних коливань і пропорційна постійному магнітному полю дефекта, яке намагнічує пластину.

Елементи статичних і динамічних систем вимірювання постійних магнітних полів має магнітографічний метод контролю. На поверхню намагніченої деталі накладається феромагнітна стрічка, яка намагнічується

однією зі складових магнітного поля (тангенційною), направленою вздовж поверхні виробу. Далі стрічка протягається в дефектоскопі, де інформація зчитується магнітними головками, що являють собою ферозондові датчики. Недолік методу - дворазове перетворення інформації.

1.2.4 Радіаційні методи контролю

При проходженні крізь зварне з'єднання іонізуючого випромінювання відбувається його ослаблення (поглинання і розсіяння), що залежить від товщини і густини металу. Степінь ослаблення залежить також від енергії самого випромінювання. Наявність в шві внутрішніх дефектів призводить до зміни інтенсивності пройшовшого крізь зварне з'єднання пучка випромінювання, несучого відповідну дефектоскопічну інформацію.

Радіаційний метод контролю _ по способам і індикації дефектоскопічної інформації розділяють на радіографічний, радіоскопічний і радіометричний.

Радіографія - метод контролю, при якому тіньове зображення внутрішньої структури просвічуваного об'єкта фіксується на фотоплівці, фотопапері чи ксерограмі. Для просвічування зварних з'єднань використовують рентгенівські апарати і радіоактивні ізотопи.

Нейтронні випромінювання використовується для контролю з'єднань важких металів і радіоактивних виробів.

Радіографічні методи дозволяють здійснити контроль з'єднань товщиною 1...500 мм з чутливістю 1...2%.

Радіоскопія - метод контролю при якому отримують видиме динамічне зображення внутрішньої будови просвічуваного звареного з'єднання. Чутливість методу (3...8%) забезпечує бачення дефектів і неперервність контролю. Джерелами випромінювання служать

рентгенівські апарати, детекторами являються флуороскопічні екрани, рентгеновідикони, електронооптичні перетворювачі.

Радіометрія - метод одержання інформації про виріб, просвічуваний іонізуючим випромінюванням, у вигляді електричних сигналів. Відрізняється чутливістю 0.3... 10%. В радіометричній дефектоскопії широко гіриміняються радіоізотопні джерела випромінювання, а в якості детекторів - сцинтиляційні кристали, газорозрядні лічильники. Рентгенівські промені, що мають коротку довжину хвилі і виникають при напрузі 50...2000 кВ, називають жорсткими, а ті що мають велику довжину хвилі (при 20...30 кВ) -м'якими. Рентгенівські трубки дозволяють діставати рентгенівські промені з енергією до 1,0 МеВ.

Радіографія. Інтенсивність випромінювання, пройшовшого через контрольований виріб, змінюється в залежності від густини матеріалу і товщини. За результатами вимірювання інтенсивності пройшовшого випромінювання за об'єктом контролю визначають наявність в ньому дефектів.

При радіографії знаходження та реєстрація радіаційного зображення здійснюється детекторами, що являють собою фоточутливу плівку, фотопалір або напівпровідникову пластину.

Ксерорадіографія - економічний метод, забезпечуючий отримання рентгенограм зварних швів на звичайному побутовому папері без мокрих фотохімічних процесів з обробкою на протязі 2-3 хвилин. Чутливість ксерорадіографії не поступається плівковій рентгенографії.

Найбільші економічні і технічні ефекти метод дає при контролі зварних швів різноманітних листових конструкцій із сталі, алюмінієвих, титанових та мідних сплавів товщиною 6...30 мм.

Радіоскопія (радіаційна інтроскопія). За допомогою методу дістають видиме динамічне зображення внутрішньої структури виробу на

екрані оптичного пристрою або телевізійного приймача. Чутливість методу трохи поступається радіографії. Перевага - можливість стереоскопічного бачення дефектів під різними кутами і безперервність контролю. Застосування радіоскопії в промисловості зростає. При радіоскопічному методі інформацію про іонізоване випромінювання отримують за допомогою флюороскопічних екранів, електроннооптичних і оптичних перетворювачів, оптичних підсилювачів і телевізійних систем. Іноді для документування результатів контролю застосовують пристрій кіно- і магнітного запису. Метод радіоскопії дозволяє дослідити контрольований об'єкт безпосередньо в момент його просвічування.

За допомогою радіометри отримують інформацію в вигляді електричних сигналів про наявність внутрішніх дефектів контрольованого виробу, просвічуваного іонізуючим випромінюванням. Існують радіометричні системи побудовані за диференціальною схемою з використанням сцинтиляційних детекторів, що живляться струмом під високою напругою. Для цих цілей в інституті імені Є. О. Патона використовують напівпровідниковий детектор із кремнія з $(p - n)$ переходом

1.2.5 Порівняльний аналіз методів контролю та постановка задачі на магістерську роботу.

Оскільки об'єктом контролю є труби та вузли, що експлуатуються під тиском до 10 Мпа, то вони повинні відповідати визначеним суворим технічним вимогам згідно ВСН 012-88 " Будівництво магістральних та промислових трубопроводів". Відповідно вони повинні періодично контролюватися такими методами, які забезпечують необхідну точність контролю. Візуальний контроль якості, контроль з використанням пенетрантів, магнітопорошковий забезпечують велику чутливість

контролю, але, нажаль, за їх допомогою виявляють тільки поверхневі дефекти. Електромагнітні методи контролю теж дозволяють виявляти тільки поверхневі дефекти. Елекіромагнітні методи контролю теж дозволяють виявляти тільки поверхневі та підповерхневі дефекти. «Тепловий ж метод ефективний тільки для виявлення дефектів в діелектричних матеріалах, бо в металічних об'єктах наявність порожнини в середині об'єкта маскується великою теплопровідністю матеріалу. Радіохвильовий метод контролю не підходить для виявлення внутрішніх дефектів, тому що провідні матеріали є непрозорими для радіохвиль. Тому для розглядуваних об'єктів контролю можна використовувати акустичний та радіаційні методи неруйнівного контролю. Акустичний метод неруйнівного контролю є достатньо чутливий, значно дешевший від радіаційного, безпечний в експлуатації, але абсолютна чутливість цього методу залежить від довжини хвилі зондуючого сигналу і для сучасних промислових дефектоскопів, навіть при частоті ультразвуку 5 МГц, не може бути краще 0.5 мм, що є недостатнім для виявлення допустимих дефектів згідно ВСН 012-88, згідно яких, наприклад, допустимий діаметр пор може досягати межі 0.2 мм. Тому найбільш підходящим для контролю стикувальних вузлів газокompресорних станцій являється радіаційний метод неруйнівного контролю, зокрема радіографічний, який дозволяє впевнено виявляти внутрішні дефекти до 0.1 мм, забезпечуючи при цьому задокументованість і високу достовірність контролю.

Виходячи з вищесказанного в магістерській роботі повинно бути:

- 1) теоретично обгрунтовано вибраний метод неруйнівного контролю;
- 2) вибрано та обгрунтовано схему контролю;
- 3) розроблено конструкцію необхідних вузлів установки;
- 4) розроблено електричну принципову схему;

- 5) розроблено методику проведення контролю;
- 6) зроблено метрологічний аналіз;

2 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТИКУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ

2.1 Теоретичні основи неруйнівного радіаційного контролю

2.1.1 Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною

В радіаційному контролі використовується проникаюче випромінювання, яке має іонізуючі властивості, і характеризується наступними параметрами.

Щільність потоку іонізуючого випромінювання це відношення потоку іонізуючих частинок $d\Phi_n$, які проникають в об'єм елементарної сфери, до площі поперечного перерізу dS цієї сфери:

$$\varphi = \frac{d\hat{O}_n}{dS} \quad (2.1)$$

а потік іонізуючих частинок - відношення числа іонізуючих частинок dN , які падають на дану поверхню за інтервал часу dt , до цього інтервалу:

$$\hat{O} = \frac{dN}{dt} \quad (2.2)$$

Запишемо співвідношення між переносом іонізуючих частинок F за деякій інтервал часу t і щільністю потоку частинок φ_n :

$$F = \int_0^t \varphi_n(\tau) d\tau \quad (2.3)$$

де переносом іонізуючих частинок назване співвідношення числа іонізуючих частинок dN , які проникають в об'єм елементарної сфери, до площі поперечного перерізу dS цієї сфери[3]:

$$F = \frac{dN}{dS} \quad (2.4)$$

Масовий коефіцієнт ослаблення $\frac{\mu}{\rho}$ визначається як і відношення лінійного коефіцієнта ослаблення до щільності середовища, через яке проходить побічно-іонізуюче випромінювання:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{-dN}{\rho N dx} \quad (2.5)$$

Ним користуються для обчислення матеріалу, необхідного для ослаблення первинного пучка, за допомогою співвідношення

$$\frac{F_x}{F_0} = \exp\left[-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)m_x\right] \quad (2.6)$$

де m_x - маса ослаблювача, що припадає на одиничну площу; F_0 - перенос фотонів на вході у середовище; F_x - перенос фотонів після проходження ними відстані x

F_x знаходиться за законом Біра:

$$F_{(x)} = F_0 \exp(-\mu x) \quad (2.7)$$

Величина m_x дорівнює просто ρx і має розмірність грам на сантиметр квадратний (г/см²).

$$\mu = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dx} \quad (2.8)$$

Середовище, яке ослаблює випромінювання, може бути описане концентрацією ослаблюючих випромінювання частинок n , що припадають на одиницю об'єму середовища, кожна з яких є площею поперечного перерізу σ для пучка променів, що падають. Таким чином, тонкий шар матеріалу товщиною dx буде поглинати долю $n\sigma dx$ частинок, які падають з фотонного пучка:

$$-\frac{dF}{F} = n\sigma dx \quad (2.9)$$

Це співвідношення узагальнює закон Біра при формальній підстановці

$$\mu = n\sigma \quad (2.10)$$

У діапазоні енергій 10 кеВ..1000 меВ найбільш суттєве значення для ослаблення падаючого фотонного випромінювання при проходженні через середовище мають три процеси його взаємодії з речовиною середовища: фотоелектрична взаємодія (n_a , атомів/см³ з перерізом взаємодії σ_ϕ , см²/атом); комптонівське розсіяння (n_e , електронів/см³ з перерізом взаємодії σ_k , см /електрон); ефект утворення електронних пар (n_a , атомних ядер/смг з перерізом взаємодії σ_n).

Повний атомний переріз взаємодії можна записати так:

$$\Sigma = \sigma_\phi + z \sigma_r + \sigma_n \quad (2.11)$$

де z — атомний номер речовини.

Вище було припущено, що всі електрони у середовищі є вільними й беруть участь у комптонівському розсіянні, що насправді не вірно, особливо для важких елементів і рентгенівського випромінювання низької енергії. Крім цього, величина σ_ϕ була визначена як атомний переріз взаємодії, оскільки процес фотоелектричної взаємодії має справу з атомом у цілому, а не з фотоелектроном.

Використовуючи співвідношення (2.10), можна записати

$$\begin{aligned} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_\phi \rho &= \mu_\phi = n_a \sigma_\phi; \\ \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_k \rho &= \mu_k = n_e \sigma_k; \\ \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_n \rho &= \mu_n = n_a \sigma_n; \end{aligned} \quad (2.12)$$

Повні коефіцієнти ослаблення:

$$\mu = \sigma n_a = \mu_\phi + \mu_k + \mu_n; \quad (2.13)$$

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_\phi + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\phi k} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_n \quad (2.14)$$

Довжина хвилі іонізуючого випромінювання, є спів мірною з міжатомними відстанями, тому ці випромінювання взаємодіють з

атомними ядрами і електронами оболонок атома, що відрізняє цей процес від інших видів випромінювання і визначає більш складний його характер. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною приводить до появи теплових, іонізаційних, електричних, люмінесцентних, фотохімічних і біологічних ефектів. Різні види іонізуючого випромінювання мають і спільні риси результатів взаємодії. Падаючі на речовину кванти випромінювання можуть бути розсіяні або поглинуті, а також можуть викликати появу нових частинок, що вільно рухаються, або фотонів. Процеси взаємодії іонізуючого випромінювання з речовинами носять випадковий характер, що необхідно враховувати при організації неруйнівного контролю. Невелика частина квантів первинного випромінювання може взагалі не взаємодіяти з матеріалом об'єкта, що залежить від атомного номера речовини і енергії кванта. Узагальнюючи всі процеси взаємодій" іонізуючого випромінювання з речовиною, можна відмітити наступні його результати, важливі для цілей радіаційного контролю якості.

1. Поглинання первинного випромінювання (J_n), що виражається в зменшенні його інтенсивності приблизно за експоненціальним законом так, що інтенсивність випромінювання після проходження об'єкта товщиною b буде рівна

$$J = J_n \cdot \exp(-\mu b) \quad (2.15)$$

де μ -лінійний коефіцієнт поглинання ($1/m$), який залежить від густини речовини, його складу і енергії фотонів.

2. Поява нових видів випромінювань, яких не було в первинному, падаючому від джерела випромінюванні, зазвичай з меншою енергією квантів і з різними напрямками його розповсюдження, аж до зворотного.

3. Розширення кута, в якому розповсюджується випромінювання, пройшовше крізь об'єкт ("широкий пучок"), по порівнянню з кутом, в

якому розповсюджувалося первинне випромінювання ("вузький пучок"). Це явище в середньому враховується при аналізі випромінювання, що потрапляє на індикатор або первинний перетворювач, помножувач більше 1, який називають "фактором (коефіцієнтом) накопичення".

4. Повне поглинання випромінювання при визначеній товщині об'єкта контролю з даного матеріалу, що являється принциповим обмеженням радіаційного методу контролю якості.

Рентгенівське і γ -випромінювання мають близьку фізичну природу, взаємодіють у формі електромагнітних коливань, які відрізняються довжиною хвилі (енергією кванта) або походженням фотонів, тому їх взаємодія з речовиною проходить одночасно у вигляді трьох процесів: фотоелектричного ефекту, розсіяння і утворення пар "електрон-позитрон".

Фотоефект полягає в тому, що при отриманні електроном оболонки атома від фотонів випромінювання більшої енергії, ніж його енергія зв'язку в атомі, він залишає атом зі швидкістю, що відповідає надлишковій енергії фотона, переходячи в зону провідності [4].

Фотоелектрична взаємодія.

При фотоелектричній взаємодії первинний фотон з енергією hV_o поглинається атомом і передає частинку E_k своєї енергії електрону, який звільнюється з атомом:

$$hV_o = E_k + I_i \quad (2.16)$$

де I_i — енергія зв'язку електрона в атомі.

Атомний рівень з найбільшою енергією зв'язку завжди має найбільший переріз взаємодії. Взаємодія K -оболонки наближено в 4-5 разів ймовірніша, ніж взаємодія L -оболонки атома, якщо обидва види взаємодії енергетично допустимі.

Експериментальні дані мають емпіричний зв'язок між μ_f , Z і hV_o у вигляді:

$$\mu_o \approx kZ^m \frac{\rho}{(hV_o)^n A} \quad (2.17)$$

де k - коефіцієнт, постійний між стрибками поглинання і постійний для всіх енергій, вищих за енергію, відповідну стрибку поглинання; Z — ефективний атомний номер; ρ - щільність; A - ефективна атомна вага; параметри m і n - функції Z і V_o , які повільно змінюються. Часто приймають $n = 3$, $m = 4$.

Процес фотоелектричної взаємодії фотона з електронною оболонкою атома супроводжується виходом з оболонки одного електрона. Атом, який втратив електрон, знаходячись у збудженому стані, заповнює свій рівень енергії, який звільнився, одним із зовнішнім електронів і елементарний акт поглинання закінчується випусканням фотона характеристичного випромінювання. Можливий і інший процес, у цьому разі енергія збудження безпосередньо передається одному з електронів атома; цей електрон залишає атом і випромінювання фотона не відбувається, це так зване явище Оже. Фотоелектрони переважно виходять під прямим кутом до поширення первинного фотонного випромінювання. У міру збільшення енергії фотонів спостерігається деяке збільшення числа фотоелектронів, які виходять під кутами, меншими 90° [3].

Розсіювання.

Розсіювання рентгенівського і γ -випромінювання відбувається в двох формах: класичне (когерентне) і комптонівське (некогерентне), які характеризуються лінійним коефіцієнтом ослаблення за рахунок розсіювання μ_p .

У випадку падіння на речовину довгохвильового випромінювання при $\lambda \geq 0.03$ нм, коли енергія первинного фотона виявляється рівною з енергією зв'язку електрона із ядром, відбувається когерентне розсіювання. Первинні фотони викликають вимушені коливання слабо зв'язаних з атомами електронів, які при цьому самі випромінюють вторинні розсіяні γ -

кванти тієї ж довжини хвилі, але в іншому напрямку (максимум - в прямому і зворотному, мінімум - в перпендикулярному). Таким чином, когерентне розсіяння фактично полягає в пере випромінюванні отриманої енергії у вигляді фотона з тією ж частотою, що рухається в довільному напрямку, але прямий і зворотній напрямки є переважаючими. Лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання за рахунок когерентного розсіяння пов'язаний з густиною речовини і дорівнює

$$\mu_{p1} = 0.402\rho\frac{Z}{A} \quad (2.18)$$

де Z - порядковий номер елемента; A - атомна маса елемента. Для більшості речовин, крім водню, $\frac{Z}{A} \approx 0.5$, тому $\mu_{p1} \approx 0.2\rho$.

Якщо первинні γ -кванти мають довжину хвилі меншу 0.03 нм, то починають з'являтися не тільки їхні хвильові властивості, але і властивості, як у частинок, що зіштовхуються подібно зіткненню двох пружних шарів. При комптонівському розсіюванні електрону передається тільки частина енергії первинного кванта. В результаті з'являється вторинний електрон, що рухається під кутом від 0 до 90° до напрямку первинного кванта, а не поглинута ним частина енергії кванта буде перетворена в меншу енергію вторинного фотона, який може поширюватися в будь-якому напрямку. Вторинний фотон також може взаємодіяти з іншими електронами або атомами, що викликає появу багатократно розсіяних фотонів з різною енергією (довжиною хвилі), меншою, ніж у первинного фотона, поки не відбудеться їх повне поглинання, звичайно за рахунок фотоефекту. Комптонівське розсіювання є основним процесом взаємодії випромінювання з речовиною в широкому інтервалі з енергією випромінювання. Довжина хвилі λ_v (нм) вторинних фотонів залежить від кута розсіяння φ :

$$\lambda_B = \lambda_0 + 4.86 \cdot 10^{-3} \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.19)$$

де λ_0 -довжина хвилі, що відповідає первинному кванту.

Інтенсивність вторинного випромінювання у вигляді фотонів також залежить від напрямку їх виходу і характеризується параметром K_e , що дорівнює:

$$K_e = \frac{\bar{h} \nu_0}{m_0 c^2} \quad (2.20)$$

де ν_0 -частота первинного кванта; m_0 -маса спокою електрона.

Кінетична енергія, що виникає при некогерентному розсіюванні, залежить також від кута виходу вторинного фотона φ і рівна

$$W_k = \frac{\bar{h} \nu_0 k_g (1 - \cos \varphi)}{(1 + k_g (1 - \cos \varphi))} \quad (2.21)$$

а кут ψ , під яким вилітає електрон віддачі, пов'язаний з кутом φ відношенням

$$\operatorname{tg} \psi \approx \frac{\operatorname{ctg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\left(1 - \left(\frac{\lambda_B}{\lambda_0}\right)\right)} \quad (2.22)$$

Сумарний коефіцієнт ослаблення при некогерентному розсіюванні, що враховує передачу енергії вторинному електрону і появу нового кванта, можна визначити за формулою, дійсною для $\lambda_0 > 0,008$ нм:

$$\mu_{p2} = \frac{\mu_{p1}}{1 + 2k_g} \quad (2.23)$$

де μ_{p2} і K_e знаходять з формул (2.6) і (2.8).

При комптонівському розсіюванні деяка частина енергії первинних фотонів hV_0 перетворюється на кінетичну енергію E_k електронів віддачі, які виходять під кутом Φ , а частина hV' енергію розсіяних під кутом Q фотонів.

При $\alpha = \frac{hV_0}{m_0c}$ ($m_0c = 0.511 \text{ МэВ}$) енергія розсіяного фотона задається

співвідношенням:

$$hV' = hV_0 (1 + \alpha - \alpha \cos Q)^{-1} \quad (2.36)$$

Кінетична енергія електрона задається у вигляді:

$$E_k = \frac{hV_0 \alpha (1 - \cos Q)}{1 + \alpha (1 - \cos Q)} \quad (2.25)$$

Переріз взаємодії σ_k визначає імовірність того, що первинний фотон зазнаватиме комптонівського розсіювання. У такому шарі речовини частину площі пучка, який перекривається елементарними сферами площею поперечного перерізу σ_k , ми прирівнюємо імовірності розсіювання, тобто імовірність розсіювання дорівнює $-\frac{dF}{F} = n_e \sigma_k dx$. При цьому число фотонів, розсіяних у межах одиничного об'єму $\frac{dN}{dV}$

$$\frac{dN}{dV} = -\frac{dF}{dx} = F n_e \sigma_k \quad (2.26)$$

а втрата енергії, яка припадає на одиничний об'єм первинного пучка, задається співвідношенням

$$W = -\frac{d\psi}{dx} = F h V_0 n_e \sigma_k \quad (2.27)$$

Припускаючи, що всі електрони атомів беруть однакову участь комптонівському розсіянні, можна записати:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_k = \sigma_k \left(N_0 \frac{Z}{A}\right) \quad (2.28)$$

де $N_0 = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ - число Авогадро. Таким чином, коефіцієнт масового ослаблення $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_k$ пов'язаний з комптонівським розсіянням,

залежить тільки від відношення $\frac{Z}{A}$, σ_k залежить від енергії первинного випромінювання. Для самих легких елементів $\frac{Z}{A} \approx 0.5$. Тому майже вся

речовина має один коефіцієнт комптонівського масового ослаблення.

Лінійний комптонівський коефіцієнт ослаблення задається у вигляді:

$$\mu_k = \sigma_k \rho N_0 \frac{Z}{A} \quad (2.29)$$

Енергія W , яка видаляється з первинного пучка може бути розкладена:

$$W = W_S + W_K \quad (2.30)$$

де W_S енергія фотонного пучка, яка припадає на одиничний об'єм речовини, що передається розсіяним фотоном; W_K - енергія фотонного пучка, яка припадає на одиничний об'єм речовини, що передається у вигляді кінетичної енергії електронам віддачі. За аналогією з (2.27) частину перерізу комптонівської взаємодії σ_{kS} , яка характеризує енергію розсіяних квантів, можна визначити співвідношенням:

$$W_S = FhV_0 n_e \sigma_{kS} = \psi n_e \sigma_{kS} \quad (2.31)$$

Аналогічно частина перерізу комптонівської взаємодії σ_{kk} , що характеризує енергію, яка поглинається в одиниці об'єму електронами віддачі, можна визнати як

$$W_K = FhV_0 n_e \sigma_{kk} = \psi n_e \sigma_{kk} \quad (2.32)$$

Використовуючи формули (2.27)-(2.32) можна записати, що

$$\sigma_{kk} = \sigma_k - \sigma_{kS} \quad (2.33)$$

Процес утворення електронних пар. Для утворення пари електрон-позитрон потрібно, щоб енергія первинного кванта перевищувала енергію спокою електрона і позитрона ($h\nu_0 = 1.022 \text{ MeV}$). В зв'язку з цим така взаємодія \mathcal{J} характерна \mathcal{E} для \mathcal{O} високо енергетичного випромінювання.

Якщо γ - кванти володіють дуже великою енергією, то вони можуть приводити атоми речовини в збуджений стан. В результаті із ядра вилітають протони або нейтрони, а в деяких випадках відбувається поділ важких ядер на два осколки.

Через багатократну взаємодію частинки і фотони в кінцевому результаті рухаються в різних напрямках, що й призводить до значного розширення сектора, в якому виходить вторинне випромінювання - з'являється "широкий пучок". В результаті загальний лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання визначається за рахунок всіх процесів взаємодії:

$$\mu = \mu_{\text{ф}} + \mu_{\text{р}} + \mu_{\text{н}} \quad (2.34)$$

і його залежність від енергії первинних квантів падаючого випромінювання і складу речовини носить складний характер. [4]

Для взаємодіючих з речовиною фотонів з енергією $h\nu_0 > 1.02 \text{ MeV}$ існує скінчена імовірність їх анігіляції у полі атомних ядер. При цьому одночасно утворюються електрон і позитрон. Ефективний переріз цього процесу збільшується із збільшенням енергії фотонів і зростає приблизно ітпропорційно квадрату описаного номера елемента принаймі до 100 MeV. У своєму напрямі електрон і позитрон вилітають під деяким кутом до напрямку первинного фотона. Середній кут між напрямом руху утвореного електрона або позитрона і напрямом фотона має значення порядку

$$Q = \frac{0.501}{0.501 + E_k} \quad (2.35)$$

де E_k - кінетична енергія електрона, MeV.

З розглянутого випливає, що комптонівський коефіцієнт лінійного ослаблення μ_k може бути записаний у вигляді суми складових μ_{ks} і μ_{kk} , де індекси s і k відносяться до енергії, яка виходить з фотонного пучка відповідно у ж вигляді розсіяного фотонного і електронного випромінювання. Тому співвідношення (2.20) можна записати так:

$$\mu = \mu_{\Phi} + \mu_{kk} + \mu_n + \mu_{kS} \quad (2.36)$$

Перші три члени цього співвідношення відносяться до процесу передачі енергії речовині, у той час, як четвертий член - до процесу розсіювання енергії. Тут враховано те, що у більшості практично важливих для неруйнівного контролю випадків можна вважати, що при фотоефекті вся енергія первинного фотона перетворюється на кінетичну енергію електронного випромінювання. Рівність (2.36) дозволяє повний коефіцієнт ослаблення записати у вигляді суми двох коефіцієнтів:

$$\mu = \mu_e + \mu_{kk} \quad (2.37)$$

Аналогічно для повного коефіцієнта масового ослаблення

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_e + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{kS} \quad (2.39)$$

Для кожної простої речовини з атомним номером Z існує визначена енергія E_1 фотона, за якої $\mu_{\Phi} = \mu_k$ і друга енергія E_2 така, що $\mu_k = \mu_n$

Закон Біра (2.7) виконується тільки для спрямованого вузького пучка фотонів. У випадку широкого пучка частина повторно розсіяного випромінювання переноситься у відповідних напрямках і в кінцевому підсумку накладається на основний пучок. У розрахунках це накладене вторинне випромінювання переноситься у відповідних напрямках і в кінцевому підсумку накладається на основний пучок. У розрахунках це накладене вдруге випромінювання враховується так званим коефіцієнтом нагромадження іонізуючого випромінювання.

Коефіцієнт нагромадження визначається, як відношення значення фізичного параметра (потoku частинок, переносу частинок, переносу енергії частинок тощо) широкого пучка у визначеній точці після взаємодії спрямованого первинного іонізуючого випромінювання із середовищем. Узагальнення закону Біра для широкого пучка звичайно записується так:

$$F(x) = F_0 B_F \exp(-\mu x) \quad (2.39)$$

$$\psi(x) = \psi_0 B_{\psi} \exp(-\mu x) \quad (2.40)$$

де $B_F > 1$ - коефіцієнт нагромадження по переносу частинок; B_ψ - коефіцієнт нагромадження по переносу енергії частинок.

Переносом енергії іонізуючих частинок називають відношення сумарної енергії (окрім енергії спокою) dE всіх іонізуючих частинок, які проникають в об'єм елементарної сфери, до площі поперечного перерізу dS цієї сфери:

$$\psi = \frac{dE}{dS} \quad (2.41)$$

Потоком енергії іонізуючих частинок називають відношення сумарної енергії dE іонізуючих частинок, які падають на дану поверхню за інтервал часу dt , до цього інтервалу:

$$\hat{O} = \frac{dE}{dt} \quad (2.42)$$

Щільність потоку енергії іонізуючих частинок - це відношення потоку енергії іонізуючих частинок $d\Phi$, які проникають в об'єм елементарної сфери, до площі поперечного перерізу dS цієї сфери:

$$y = \frac{d\hat{O}}{dS} \quad (2.43)$$

Запишемо співвідношення між переносом енергії іонізуючих частинок ψ за деякий інтервал часу t і щільністю потоку енергії ϕ

$$\psi = \int_0^t \phi(\tau) d\tau \quad (2.44)$$

Експозиційна доза - фізична величина введена тільки для фотонного випромінювання. Вона визначається як відношення сумарного заряду dQ всіх іонів одного знака, що утворилися в повітрі, коли всі електрони й позитрони, звільнені фотонами в елементарному об'ємі повітря масою dm , повністю в ньому зупинилися, до маси повітря в вказаному об'ємі:

$$D_0 = \frac{dQ}{dm} \quad (2.45)$$

Згідно з (2.45) одиницею експозиційної дози є кулон на кілограм (Кл/кг). Стара одиниця - рентген: $1P = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{Кл/кг}$.

Потужністю експозиційної дози називають відношення експозиційної дози фотонного випромінювання dD_0 за інтервал часу dt до цього інтервалу:

$$P_0 = \frac{dD_0}{dt} \quad (2.46)$$

Поглинутою дозою випромінювання називають відношення середньої енергії dE , переданої іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі до маси сіт речовини у цьому об'ємі:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (2.47)$$

Потужністю дози випромінювання називають відношення

$$P = \frac{dD}{dt} \quad (2.48)$$

Раніше поглинута доза випромінювання вимірювалася у радах ($1\text{рад} = 100 \text{ ерг/г} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$). Коли колімований пучок фотонів, що переносить енергію u , нормально падає на поглинач товщиною dx і щільністю ρ , то частина енергії $d\psi$ перетворюється на кінетичну енергію заряджених частинок. Масовий коефіцієнт передачі енергії $(\mu/\rho)_{\text{пер}}$ можна визначити з рівності:

$$d\psi = \psi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{іа\delta}} \rho dx \quad (2.49)$$

Кінетична енергія, що передається електронам, на одиницю маси поглинача k , буде визначатися рівністю:

$$k = \frac{d\psi}{\rho dx} = \psi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{іа\delta}} \quad (2.50)$$

Величина k носить назву карма і має таку саму розмірність, що й доза випромінювання. Не вся енергія, яка поглинається з первинного пучка, перетворюється на первинну енергію електронів. Наприклад, у разі

фотоелектричної взаємодії деяка частина енергії витрачається на іонізацію атома і тому може випромінюватися з точки взаємодії у вигляді флуоресцентних фотонів. При утворенні пар у полі ядра атома енергія первинного пучка частково використовується на масові енергії спокою (1.002 MeV), при цьому частина цієї частки пере випромінюється у вигляді анігіляційних фотонів. Виходить, що значення величини $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}\delta}$, яка відноситься тільки до поглинутої енергії, що перетворюється на кінетичну енергію електронів, менше, ніж значення $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\dot{a}}$, що відноситься до всієї поглинутої енергії пучка.

Кінетична енергія заряджених частинок в основному йде на іонізацію атомів середовища і розподіляється локально, вносячи свій вклад у поглинуту дозу. Проте частина цієї енергії вдруге пере випромінюється у формі гальмівного випромінювання і, таким чином, не вносить вкладу у поглинуту дозу.

Масовий коефіцієнт передачі енергії $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}\delta}$ пов'язаний з масовим коефіцієнтом поглинання енергії $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}}$ співвідношенням:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}\delta} (1 - q) \quad (2.51)$$

де q - частина енергії заряджених частинок, що йде на гальмове випромінювання.

Для елементів з атомним номером $Z < 20$ і фотонів з енергіями $E_0 < 1.0$ MeV різниця між значеннями $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}}$ і $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}\delta}$ буде меншою за один процент, наприклад для урану $Z=92$ припадає $E_0=10$ MeV, $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{i\ddot{a}} = 0.031$

см²/г, а $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{іаа}} = 0.043$ см²/г. Енергія, що припадає на одиницю маси, яка

поглинається речовиною, задається у вигляді:

$$E_{\text{іаа}} = \psi \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{іаа}} \quad (2.52)$$

При експозиційній дозі $I P = 2.58 \cdot 10^{-7}$ Кл/г енергія (ергів), поглинута на одиницю маси (грамів):

$$E_{\text{ноз}} = (2.58 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/г}) (33.7 \text{ еВ/іон}) (1.6 \cdot 10^{-12} \text{ ерг/еВ}) (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл/іон}) = 86.9 \text{ ерг/г.}$$

Тут врахований той факт, що для одержання однієї пари іонів у повітрі, необхідно витратити 33.7 еВ енергії.

При експозиційній дозі D_0 рентген енергія, поглинута в одиниці маси повітря:

$$E_{\text{ноз}} = 86.9 D_0 \text{ ерг/г.} \quad (2.53)$$

Порівнюючи (2.52) і (2.53) для переносу енергії, яка припадає на IP . можна записати:

$$\frac{\psi}{D_0} = 86.9 / \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{іаа}} \quad (2.54)$$

Перенос фотонів, які припадають на IP дорівнює значенню ψ/D_0 поділеному на енергію фотона E_0 (МеВ):

$$\frac{F}{D_0} = 86.9 / \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{іаа}} E_0 \cdot 1.6 \cdot 10^{-6} = \frac{54.3 \cdot 10^6}{E_0} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{іаа}} \quad (2.55)$$

2.1.2 Прикладання теорії лінійної фільтрації до системи радіаційного контролю

Будь-який контроль включає як найважливіший елемент передачу на відстані інформації про стан тих чи інших фізичних тіл.

Систему радіаційного контролю можна розглядати як канал передачі сигналів, складений з кількох каскадів: генерації іонізуючого

випромінювання, модуляції і детектування. У практиці радіаційного контролю часто вимагається описати реакцію системи на різні дефекти, оцінити просторове розв'язання, розробити схеми для підвищення якості зображення.

Математичний апарат, застосовуваний для цього - теорія лінійної фільтрації, яка є галуззю фур'є -аналізу, що використовується для вивчення реакції на сигнал лінійних інваріантних систем.

Для спрощення теоретичного опису перерахованих каскадів у рамках теорії лінійної фільтрації припускаємо, що джерело випромінювання, об'єкт контролю і детектор є плоскими і розміщені відповідно у площинах $\Gamma_u, \Gamma_v, \Gamma_w$ (рис.2.1).

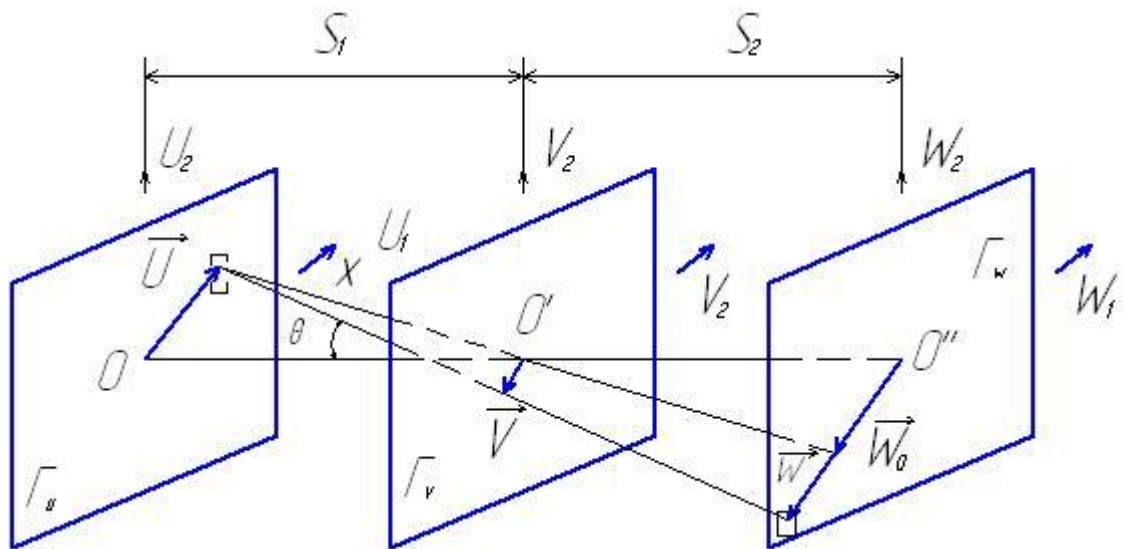


Рисунок 2.1 Схема розміщення джерела випромінювання об'єкта контролю й детектора

Вказана на цьому рисунку система контролю моделює широко застосовувані у радіаційному контролі схеми збирання інформації про об'єкт контролю (ОК) з використанням: широкого пучка, вузького пучка, точкової діафрагми.

Джерело випромінювання.

Радіаційне поле джерела навколо координати \bar{u} у площині Γ_u описуватиметься усередненою за ансамблем реалізацією полів функцією $f(\bar{u})$ в одиницю часу з площадки $d_{u1} d_{u2}$.

Вид функцій $f(\bar{u})$, які називаються в теорії лінійних систем функціями розсіювання (ФР), і одночасно пов'язані з ними Фур'є-перетворенням функцій передачі модуляцій (ФПМ) суттєво впливають на інформаційну здатність систем радіаційного контролю. Для джерела випромінювання, як і для кожного конкретного кільця системи радіаційного контролю, ФР (ФПМ) або описуються теоретично деяким спрощенням фізичної ситуації при аналізі властивостей ланки, або встановлюються апроксимацією експериментальних даних.

Вид цих функцій, у деяких випадках, встановлюється їх вибором з деякого ряду модельних функцій, що є зв'язувальною ланкою між будь-якими теоретичними знаннями про систему і попередньою експериментальною роботою. Цей ряд являє собою:

а) ряд функцій, які мають осьову симетрію

$$f(u) = \begin{cases} f_0 \left[1 - \left(\frac{2u}{df} \right)^2 \right]^q & \text{при } u \leq 0.5df; q \geq 0; u > 0.5df, \end{cases} \quad (2.56)$$

$$F(\rho_u) = Ff(u) = 2^{q+1} \Gamma(q+2) I_{q+1}(kdf\rho_u) / (kdf\rho_u)^{q+1} \quad (2.57)$$

де F - нормалізований фур'є-оператор; $\Gamma(\cdot)$ - гамма-функція; $I(\cdot)$ - функція Бесселя; ρ_u - просторова частота у площині Γ_u ;

б) ряд косинусоціальних функцій

$$f(u_1, u_2) = f_0 \cos\left(3.14q_1 \frac{u_1}{d_1}\right) \cos\left(k \frac{u_2}{d_2}\right) \quad \text{при } |u_1| \leq 0.5d_1; q \geq 0 \quad (2.58)$$

$$f(u_1, u_2) = 0 \quad \text{при } |u_2| \leq 0.5d_1; q \geq 0$$

$$\text{при } |u_1| \leq 0.5d_1,$$

$$\text{при } |u_2| \leq 0.5d_1,$$

де d_f, d_1, d_2 - розміри фокусних плям джерел.

Фокусною плямою називають проекцію випромінюючої ділянки джерела, яке іонізує випромінювання, на площину перпендикулярну до осі робочого пучка іонізуючого випромінювання.

При q, q_1, q_2 досить великих, наприклад, понад три моделі (2.56)-(2.58) апроксимуються гауссоїдами (рис. 2.2).

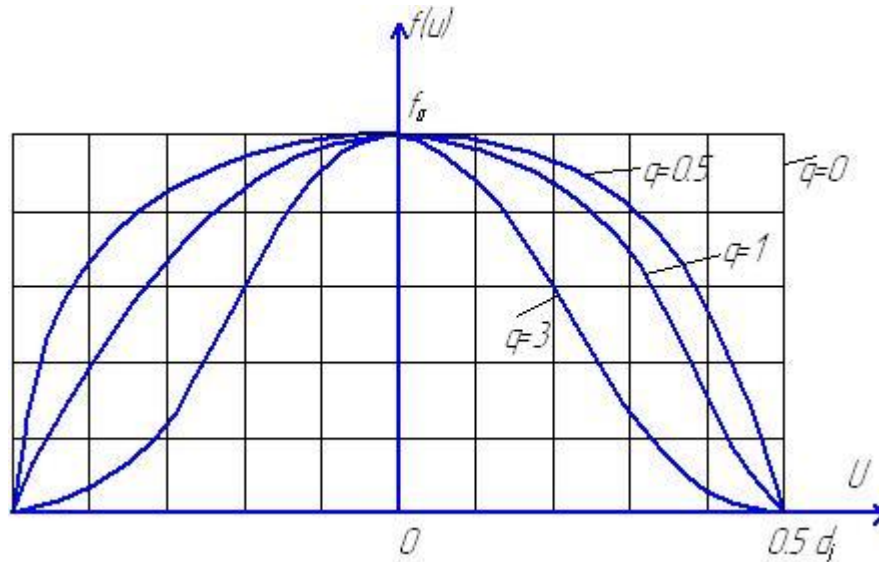


Рисунок 2.2 Гауссоїди, які апроксимують розміри фокусних плям джерел випромінювання

Детектор.

Розглянемо тепер елементарну ділянку детектора dW_1, dW_2 , розташовану навколо точки \vec{W}_1 площини Γ_w . З точки \vec{u} площини Γ_u її видно під тілесним кутом $d\Omega$, який описується виразом:

$$d\Omega = \cos Q dW_1 \frac{dW_1 dW_2}{R^2} \quad (2.59)$$

де R - відстань між струмами \vec{u} і \vec{W} елементів площин джерела і детектора; Q -кут між віссю робочого пучка випромінювання і лінією, яка з'єднує точки \vec{u} і \vec{W} .

З геометрії рисунку 2.2 видно, що

$$R = \frac{S_1 + S_2}{\cos Q} \quad (2.60)$$

$$d\Omega = \cos^3 Q \frac{dW_1 dW_2}{S_1 + S_2} \quad (2.61)$$

При $\alpha=4k$:, тобто ізотропному джерелі, середнє число фотонів, випромінюваних в одиницю часу елементом $du_1 du_2$. яке приймається елементом $dW_1 dW_2$, У разі відсутності об'єкта контролю задається виразом:

$$f(\bar{u}) du_1 du_2 \frac{d\Omega}{4\pi} = f(\bar{u}) du_1 du_2 dW_1 dW_2 \cos^3 Q \frac{d}{4\pi} (S_1 + S_2) \quad (2.62)$$

Безперечно, не всі ці фотони реєструються детектором і навіть при реєстрації його положення \ddot{W} точно не визначено. Каскад модуляції і випромінювання.

Пучок променів, випромінюваний з навколишнього простору точки \bar{u} (див. рис. 2.1), який падає на радіаційний перетворювач навколо точки \ddot{W} , проходить транспарант Γ_v поблизу точки \bar{v} . Вектори \bar{u} , \ddot{W} і \bar{v} пов'язані співвідношенням:

$$\bar{v} = \left(\frac{S_1}{S_1 + S_2} \right) \bar{u} + \left(\frac{S_2}{S_1 + S_2} \right) \ddot{W} = a_1 \ddot{W} + a_1 \bar{u} \quad (2.63)$$

Визначимо вектор \ddot{W}_0 рівністю:

$$\ddot{W} = -\frac{\bar{u} a_2}{a_1} \quad (2.64)$$

Якщо ми прозорість транспаранта Γ_v для фотонів джерела описуватимемо функцією $g(\bar{v})$, то середнє число первинних фотонів, які падають на площину $dW_1 dW_2$ детектора за час T , можна записати у вигляді:

$$h(W) dW_1 dW_2 = T dW_1 dW_2 \iint_{Tu} \cos^3 Q f(\bar{u}) g(\bar{v}) du_1 du_2 \quad (2.65)$$

Під прозорістю $g(\bar{v})$ транспаранта Γ_v , який моделює об'єкт контролю, розуміється частина падаючих фотонів, що пройшли рівномірно опромінюваний транспарант. Вона несе "сміслову" інформацію про дефектність об'єкта контролю.

За розмірністю $h(W)$ відповідає перенесенню іонізуючих частинок.

Термін зображення називає площину, фізичні характеристики, наприклад $h(W)$, якої змінюється від точки до точки.

Радіаційним називають зображення, сформоване іонізуючим випромінюванням у результаті його взаємодії з об'єктом контролю, а тіньовим радіаційним - радіаційне зображення за об'єктом контролю, сформоване широким або вузьким пучком іонізуючого випромінювання. Коефіцієнти a_1 і a_2 пов'язані з проекційним збільшенням при радіаційному контролі співвідношеннями:

$$m = \frac{S_1 + S_2}{S_1} = \frac{1}{a_1} = \frac{1}{1 - a_2} \quad (2.66)$$

Проекційним збільшенням називають відношення лінійного розміру елемента тіньового радіаційного зображення об'єкта контролю, сформованого точковим джерелом випромінювання, до розміру відповідного елемента самого об'єкта.

При $|\bar{u}| \ll S_1 + S_2$; $|\ddot{W}| \ll S_1 + S_2$ і (2.44) набуває вигляду:

$$h(\ddot{W}) = \frac{T}{4\pi} (S_1 + S_2)^2 \iint_{Tu} g(\bar{v}) du_1 du_2 \quad (2.67)$$

Використовуючи масштабні параметри a_1 і a_2 (2.64) можна визначити масштабовані варіанти f і g :

$$f(\bar{u}) = f\left(-a_1 \frac{\ddot{W}_0}{a_2}\right) = f^\wedge(\ddot{W}_0) \quad (2.68)$$

$$g(v) = g\left(a_1 \ddot{W} + a_2 \bar{u}\right) = g\left(a_1 (\ddot{W} - \ddot{W}_0)\right) = g^\wedge(\ddot{W} - \ddot{W}_0) \quad (2.69)$$

Використовуючи визначення $A = T\left(\frac{4k}{S_1} + \frac{S_2}{S_1}\right)^{-1}$ а також (2.68) і

(2.69) перепишемо (2.65) і (2.66), приймаючи $\ddot{W} - \ddot{W}_0 = \check{z}$

$$h(\ddot{W}) = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 A \iint_{Tu} f^\wedge(\ddot{W} - \check{z}) g^\wedge(\check{z}) dz_1 dz_2 \quad (2.70)$$

Це основне рівняння теорії формування радіаційних зображень лінійними системами, яке пов'язує перенесення заряджених частинок у радіаційному зображенні з прозорістю об'єкта контролю і радіаційним полем джерела. Його можна розглядати, як реакцію двомірної системи з ФР f^{\wedge} і g^{\wedge} на вихідну дію f^{\wedge} або g^{\wedge} . Як і для будь-якої лінійної системи, для радіаційної системи надто корисним є її описання у частотній ділянці, тобто як фільтра просторових частот.

Застосовуючи фур'є перетворення до (2.70), одержимо:

$$F\left\{h\left(\ddot{W}\right)\right\}=H\left(-\rho_w\right)=\left(\frac{a_1}{a_2}\right)AF^{\wedge}\left(-\rho_w\right)\sigma^{\wedge}\left(-\rho_w\right) \quad (2.71)$$

де $(-\rho_w)$ -вектор просторової частоти, спряженої до \ddot{W} у площині Γ_w ;

$$F^{\wedge}\left(-\rho_w\right)=F\left\{f\left(-a_1\frac{\ddot{W}_0}{a_2}\right)\right\}=\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2F\left(-u_2\frac{\bar{\rho}_w}{a_1}\right) \quad (2.72)$$

$$\sigma^{\wedge}\left(-\rho_w\right)=F\{g(a,W)\}=\frac{\sigma}{a_1^2}\left(\frac{\bar{\rho}_w}{a_1}\right) \quad (2.73)$$

тобто

$$H\left(-\rho_w\right)=\left(\frac{A}{a_1^2}\right)F\left(-a_2\frac{\bar{\rho}_w}{a_1}\right)\sigma\left(\frac{\bar{\rho}_w}{a_1}\right) \quad (2.74)$$

Якщо джерело випромінювання точкове, то

$$f(\bar{u})=f_0\delta(\bar{u})=f_0\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\delta\left(\overset{\vee}{z}-\ddot{W}\right); g^{\wedge}\left(\overset{\vee}{z}\right)=g\left(a,\overset{\vee}{z}\right) \quad (2.75)$$

де $\delta(\bar{u})$ - дельта-функція;

$$h\left(\ddot{W}\right)=A\int\int_{-\infty}^{+\infty}g\left(a,\overset{\vee}{z}\right)\delta\left(\overset{\vee}{z}-\ddot{W}\right)dz_1dz_2=Af_0g\left(a,\ddot{W}_0\right) \quad (2.76)$$

тобто функція $h(\ddot{W})$ ширша за функцію $g(v)$ оскільки масштабний параметр $a_1 < 1$, а профіль радіаційного зображення повністю відповідає прозорості $g(\bar{v})$ транспоранта.

Якщо об'єкт контролю (транспарант) показати у вигляді пластини товщиною x_0 в центрі якої є порожнина розміром $E \ll x_0$, то радіаційну товщину площини можна визначити так:

$$x(\bar{v}) = x_0 - E \operatorname{rut}\left(\frac{v_1}{E}\right) \operatorname{rut}\left(\frac{v_2}{E}\right) \quad (2.77)$$

де $\operatorname{rut}(v) = l$, *при* $|v| < 0.5$, $\operatorname{rut}(v) = l$, *при* $|v| > 0.5$.

Радіаційною товщиною називають сумарну довжину ділянок осі робочого пучка іонізуючого випромінювання у матеріалах об'єкта контролю. У цьому випадку прозорість об'єкта контролю для моноенергетичного випромінювання з урахуванням закону Біра можна визначити співвідношенням:

$$g(\bar{v}) = e^{-\mu x} \left[1 + \mu E \operatorname{rut}\left(\frac{v_1}{E}\right) \operatorname{rut}\left(\frac{v_2}{E}\right) \right] \quad (2.78)$$

а радіаційне зображення пластини при точковому джерелі випромінювання у вигляді цієї змінної завжди дорівнює її середньому. Випадковий процес $Z(\ddot{W})$ має середнє:

$$\langle Z(\ddot{W}) \rangle = h(\ddot{W}) = \int_0^T \lambda(\ddot{W}, T) dF \quad (2.79)$$

Якщо площа детектора або його частини дорівнює A_d і фотони рівномірно розподіляються на цій площі і при цьому \ddot{W} лежить в A_d , то

$$h(\ddot{W}) = \frac{\bar{k}}{A_d} = \frac{\lambda}{A_d} \quad (2.80)$$

Якщо ми хочемо виявити невелику порожнину, то згідно з (2.78) середнє число Δk , які сигналізують про її наявність:

$$\Delta \bar{k} = \Delta h(\ddot{W}) \frac{E_2}{a_1^2} = \mu \frac{E_2}{a_1^2} A f_0 e^{-\mu x_0} \quad (2.81)$$

де $\Delta h = \mu E A f_0 e^{-\mu x_0}$, $\frac{E_2}{a_1^2}$ - площа ділянки детектора, на яку надходять сигнальні фотони.

Відношення сигнал/шум (ВСШ) у радіаційному зображенні і порожнини без урахування ефектів розсіяного випромінювання можна назвати відношення середнього Δk до середньоквадратичного відхилення $\sigma_k = \sqrt{k} = \sqrt{\frac{E_2}{a_1^2}} A f_0 e^{-\mu x_0}$ фотонного первинного випромінювання на цій ділянці детектора, тобто

$$\hat{A}\tilde{N}\emptyset = \frac{\Delta \bar{k}}{\sqrt{k}} = \mu E^2 \sqrt{\frac{A f_0 e^{-\mu x_0}}{a_1}} \quad (2.82)$$

Оскільки f_0 пропорційна потужності джерела (або активності радіонукліда в джерелі), а $A \sim T$ для збереження значення ВСШ у радіаційному зображенні порожнини розміру E : $f \sim E^{-4}$ і $T \sim E^{-4}$, де \sim знак пропорційності. З урахуванням вкладу розсіяного випромінювання:

$$\hat{A}\tilde{N}\emptyset = \mu \frac{E^2}{a_1} \sqrt{\frac{A f_0 e^{-\mu x_0}}{B_F}} \quad (2.83)$$

2.1.3 Вибір і обґрунтування режимів просвічування

При промисловій радіографії основний показник якості виконаного знімку - це відносна чутливість, що визначається по зображенню еталонів чутливості. На практиці радіографії і радіоскопії приміняють декілька типів стандартизованих еталонів чутливості: дротяний, рівчаківий, пластинковий з отворами, ступінчатий з отворами. Залежність відносної чутливості від основних параметрів просвічування визначається рівнянням:

$$W_{\tilde{a}i} = \frac{\Delta \delta}{\delta} \cdot 100\% = 2.3 \Delta D_{i\tilde{a}} \frac{B}{\gamma_D} \mu \delta \cdot 100\% \quad (2.84)$$

де $\Delta D_{i\tilde{a}}$ - мінімальна різниця густин почорніння, що розрізняється оком (приладом); B - дозовий фактор накопичення випромінювання; γ_D — контрастність радіографічної плівки; μ - лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання; δ - товщина виробу.

Приведене рівняння справедливе при відсутності розмиття країв зображення дефекту. В реальних промислових умовах радіографії зображення дефекту завжди буває розмитим і характеризується загальною нерізкістю зображення U . Вплив нерізкості призводить до того, що чутливість рівчакового еталона погіршується: для рівчакового еталона

$$W_{\text{рівч}} = 2.3 \Delta D_{\text{рівч}} \frac{B}{\gamma_D} \mu \delta \cdot \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right) 100\% \quad (2.85)$$

для дротяного еталона

$$W_{\text{дрот}} = 2.92 \Delta D_{\text{дрот}} \frac{B}{\gamma_D} \mu \delta \cdot \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right) 100\% \quad .86)$$

де Δb - ширина дефекту, а d - діаметр дротів(протяжностей?) еталонів чутливості, мм.

Приведені співвідношення дозволяють визначати в достатньому наближенні глибину мінімальної виявляємої канавки: еталона, що імітує дефекти ступінчатої або прямокутної форми типу непроварів, розслоєнь і макротріщин, або діаметр протяжності еталона, що імітує дефекти кулеподібної або овальної форми типу пор, включень і ін.

Мінімально виявляема різниця густини почорніння $\Delta D_{\text{ізг}}$ між зображенням дефекту і основним фоном знімка визначається деякими факторами, до яких відносяться степінь досконалості ока оператора, яскравість екрана розшифровочного обладнання і умови розшифровки, а також розміри і форми зображення дефекту. Око являється найбільш чутливим при яскравості більше 30 кд/м^2 , в цих умовах можливо розрізнити різницю яскравості біля 0.14, що забезпечує знаходження мінімальної різниці густин почорніння $\Delta D_{\text{ізг}} = 0.006$. В загальному вигляді значення $\Delta D_{\text{ізг}}$ при яскравості екрана розшифровочного обладнання 30 кд/м^2 знаходиться в межах від 0.006 до 0.02 (відстань від ока до екрана становить 25 см), причому менші значення відповідають більшим

дефектам і малим відношенням довжини дефекту до його ширини (до 20), а більші значення - малим дефектам і великим відношенням довжини дефекту до його ширини (до 70).

Загальна нерізкість зображення визначається впливом кількох видів нерізкостей: геометричною, внутрішньою, нерізкістю розсіяння і зміщення.

Геометрична нерізкість визначається із співвідношення:

$$U_{\bar{A}} = \frac{d_a \delta}{F - \delta} \quad (2.87)$$

де d_a -діаметр активної частини джерела.

Внутрішня нерізкість для гальмівного випромінювання і флуороскопічних екранів $U_B=0.1+0.5$ мм; для гальмівного випромінювання і екранів з Pb $U_B=0.025+0.1$ мм; для γ -випромінювання і екранів з Pb $U_B=0.17+0.5$ мм. Значення U_g залежать від енергії випромінювання, в частості для Ir $U_B=0.17+0.2$ мм, для Cs $U_B=0.27+0.3$ мм, для Co $U_B=0.36+0.5$ мм.

Нерізкість розсіяння рівна:

$$U_p = U_B g^\delta \quad (2.88)$$

де δ — товщина просвічування, см; g — коефіцієнт пропорційності. Для гальмівного випромінювання $g = 1.25$, для Ir $g = 1.15$, для Cs $g = 1.09$, для Co $g = 1.04$.

Нерізкість зміщення, визначаєма коливаннями джерела, об'єкта і детектора, в реальних умовах просвічування звичайно усувається в результаті застосування жорстких штативних пристроїв, тримачів джерел і детекторів.

Загальна нерізкість зображення залежить також від характеру розподілу геометричної нерізкості, пов'язаної з формою дефекту або елемента еталона чутливості. Зокрема для рівчакових еталонів чутливості і дефектів ступінчатого типу (непровари, тріщини і таке інше):

$$U = \sqrt[3]{(U_{\bar{A}}^3 + U_B^3)} \quad (2.89)$$

для дротяних еталонів чутливості і дефектів овального типу (пори, раковини і тому подібне):

$$U = U_{\bar{A}} + \frac{U_B}{2U_{\bar{A}}} * \left[1 + \exp\left(2 \frac{U_B}{U_{\bar{A}}}\right) \right] \quad (2.90)$$

При просвічуванні товстостінних виробів в ці рівняння замість U_B підставляється значення U_p .

Контраст зображення C_u визначає прояв з розрішаючою здатністю виявляємість дефектів. Він залежить не тільки від яскравостей L_d і L_0 дефектної і бездефектної ділянки зображення, але і від ширини дефекту Δb і його нерізкості U :

$$\tilde{N}_{\dot{E}} = \frac{L_{\bar{A}} - L_0}{L_0} \cdot \left(1 + \frac{U}{\Delta b} \right) 100\% \quad (2.91)$$

При промисловій радіографії зварних з'єднань в основному використовуються схеми просвічування, що забезпечують контроль якості шва по ділянках плоских протяжних виробів і виробів типу тіл обертання.

Аналіз приведених схем показує, що тільки при кільцевому просвічуванні фокусна відстань і товщина стінки контролюємої труби являються постійними, при всіх інших способах контролю їх значення змінюються від центра до краю ділянки, що контролюється. Сумарна дія цих двох чинників чинить суттєву дію на отримані результати. Радіографічний знімок має різні контрастність γ_D , густину почорніння D загальну нерізкість зображення U і, як наслідок, різні значення відносної чутливості контролю $W_{відн}$ в центрі і на краю знімка.

Таким чином, основними обмеженнями при використанні в практиці промислової радіографії будь-якої із наведених схем просвічування являються: отримання допустимої різниці густин почорніння і допустимих загальних нерізкостей зображення по центру і краю знімка; отримання потрібної, згідно правил контролю, відносної

чутливості $W_{відн}$ по центру краю знімка; отримання економічно виправданої продуктивності контролю.

Допустима різниця густин почорніння ΔD між центром і краєм знімка визначається для безекранних плівок обмежених можливостями розшифровочного обладнання (негатоскопів), дозволяючого проглядати знімки з граничною густиною почорніння $D_{II} \leq 3$, а для екранних плівок-отримання максимальної контрастності γ_D при визначених значеннях густини почорніння знімка $D_{II} = 1.8 \div 2.2$. Мінімальна густина почорніння знімку встановлюється правилами контролю (звичайно $D_{min} = 1.5 + 1.8$). В загальному вигляді $\Delta D = D_{II} - D_{min}$ відповідне рівняння має вигляд:

$$\Delta D = 0.87\gamma \left[2 \frac{F_\phi - F}{F_\phi + F} + 0.5\mu\delta \frac{\delta_\phi}{\delta} - \frac{B_\phi - B}{B_\phi + B} \right] \quad (2.92)$$

Де F_ϕ , δ_ϕ і B_ϕ значення фокусної відстані, товщини просвічування і дозового фактора накопичення по краю знімка; F , δ і B -аналогічні величини по центру знімка.

Відносна чутливість радіографії залежить від контрастності знімка U , загальної нерізкості зображення U , кількості розсіяного випромінювання, досягаючого плівки. Тому ці просвічування виробів по ділянкам, коли всі перелічені параметри змінюються від центра до краю знімка, чутливість контролю також буде змінюватися.

Вибір джерела випромінювання, радіографічної плівки і підсилюючого екрана цілком визначає чутливість просвічування і продуктивність контролю. При необхідності отримання високої чутливості слід використовувати низько енергетичні джерела випромінювання і високо контрастні дрібнозернисті без екранні плівки з металічними підсилюючими екранами, екранні плівки з флуоресцентними підсилюючими екранами.

Вибір фокусної відстані F у промисловій радіографії визначається для даної товщини δ об'єкта і з врахуванням розмірів фокусної плями (активної частини) d_a :

$$F = \delta \left(\frac{d_a}{U_{\bar{a}}} + 1 \right) \quad (2.93)$$

Геометрична нерізкість U_G вибирається з умови $U_G \leq U_B$ при просвічуванні тонкостінних виробів і $U_G \leq U_P$ при просвічуванні виробів великої товщини, коли розсіяне випромінювання суттєвим чином впливає на погіршення виявляємості. В цьому випадку загальна нерізкість зображення при $U_G = U_P$ рівна:

$U = 1.25 U_P$, (для ступінчатих дефектів);

$U = 1.43 U_P$, (для овальних дефектів).

При $U_G = U_P$ загальна нерізкість становить відповідно $U = 1.25 U_B$
 $U = 1.43 U_B$.

Вибір часу просвічування при промисловій радіографії проводиться або по номограмі експозицій, або за допомогою автоматичних експонетрів, що вимірюють і задають необхідну дозу опромінення для детектора.

Номограми експозицій складають з урахуванням товщини і густини «матеріалу контролююмого об'єкта, МЕД і енергії випромінювання, фокусної відстані і вибраних комбінацій плівок і екранів. Наприклад, для радіоізотопних джерел випромінювання по номограмі для заданих значень МЕД випромінювання P , товщини матеріалу δ , типу джерела і вибраної фокусної відстані F визначається час просвічування t_n .

При використанні інших типів радіографічних плівок, чим ті, для яких побудована номограма, роблять перерахунок часу просвічування t з врахуванням перехідного коефіцієнта K_{II} :

$$t = t_n K_{II} \quad (2.94)$$

При значеннях фокусних відстаней F відмінних від тих, для яких побудована номограма, час "просвічування отриманий по номограмі, перераховується обернено пропорційно квадрату фокусних відстаней:

$$t = t_i \frac{F^2}{F_i^2}$$

Вибір розміру ділянки, контрольованого за одну експозицію при радіографії зварних з'єднань плоских протяжних виробів і повних тіл обертання, залежить від сумарного часу t_{Σ} що затрачається для просвічування всього зварного з'єднання:

$$t_{\Sigma} = N(t + t_e) \quad (2.95)$$

де N - число ділянок при контролі всього зварного з'єднання; t_e - допоміжний час, затрачений на підготовку однієї ділянки до просвічування (очистка і розмітка шва, установка і зняття еталонів чутливості, маркувальних знаків і касет на ділянці просвічування); t - час просвічування, затрачений на контроль однієї ділянки.

При контролі плоских протяжних виробів число ділянок N , на яке розбивається зварний шов при його просвічуванні кінчним пучком випромінювання з кутом колімації 2φ , визначається співвідношенням

$$N = \frac{l}{l_1} \quad (2.96)$$

де $l = 2(F - \delta) \operatorname{tg} \varphi$ — довжина зварного шва; l_1 - довжина контрольованої ділянки шва.

При контролі зварних з'єднань по ділянкам, коли густина почорніння зменшується від центра до краю знімка, існують такі розміри кута колімації 2φ , що визначають величину ділянки, при яких досягаються мінімальні затрати часу просвічування t_{Σ} . Насправді, збільшення розміру ділянки, контрольованої за одну експозицію, призводить до збільшення часу просвічування t , а збільшення числа знімків N - до зменшення t . Таким чином, існує деяке співвідношення між N і t , коли загальний час

просвічування t_{Σ} досягає мінімального значення $t_{\Sigma min}$. Відповідне рівняння, що дозволяє визначити оптимальний розмір ділянки або оптимальну кількість знімків для плоского зварного шва (при умові $t \gg t_B$), має вигляд:

$$M\delta = \cos\varphi_{opt}(\cos\varphi_{opt}^2 - 1)/(1 - \cos\varphi_{opt}^2) \quad (2.97)$$

При просвічуванні плоских зварених швів досягається суттєве скорочення затрат часу, при цьому положення самого оптимуму зміщується в область великих розмірів знімка з ростом допоміжного часу.

2.2 Розробка електричної принципової схеми установки для радіаційного контролю вузлів газокompресорної станції.

2.2.1 Розробка принципової електричної схеми.

Електрична принципова схема блока керування представлена на МР.МТТм-15.01.00.00.000ЕЗ і складається з таких вузлів:

- а) блок живлення (трансформатор, плата А3);
- б) таймер експозиції, (плата А1);
- в) блок керування (плата А4);
- г) блок реле (К1, К2, К3);
- д) випрямляч (плата А2)

Компенсаційні стабілізатори напруги постійного струму з безперервним регулюванням.

Компенсаційний стабілізатор з безперервним способом регулювання являє собою замкнуту систему автоматичного регулювання вихідної напруги при дії різних збуджуючих факторів (зміна напруги живлення, навантаження температури навколишнього середовища та ін.), в якій вихідна напруга підтримується постійною за рахунок зміни падіння напруги на В регульованому елементі. Стабілізатори напруги з безперервним способом регулювання можуть бути виконані, як з

послідовним, так і з паралельним включенням регулюючого елемента відносно навантаження (відповідно послідовного і паралельного типу).

В якості регулюючого елемента схеми переважно використовуються біполярні транзистори $n-p-n$ і $p-n-p$ типу, що працюють в режимі підсилення. Оскільки в режимі підсилення в транзистора існує лінійна залежність між вхідним і вихідним сигналами, то стабілізатори напруги з безперервним способом регулювання по іншому називають лінійними стабілізаторами напруги.

В стабілізаторах напруги постійного струму послідовного типу постійність вихідної напруги під дією збуджуючих факторів забезпечується відповідними змінами падіння напруги при регульованому транзисторі. В стабілізаторах напруги паралельного типу постійність вихідної напруги забезпечується за рахунок зміни падіння напруги на балансовому резисторі, ввімкненому послідовно з навантаженням, при зміні струму, що протікає через регулюючий транзистор.

Для того, щоб вірно проводити вибір типу стабілізатора для кожного конкретного випадку, необхідно розглянути характерні особливості їх роботи.

В стабілізаторах напруги паралельного типу напруга на регулюючому транзисторі рівна вихідній напрузі і не залежить від змін вхідної напруги. В стабілізаторах послідовного типу напруга на регулюючому транзисторі рівна різниці між напругою живлення і вихідною напругою, тобто значно менша, ніж у паралельного стабілізатора, і залежить від зміни напруги живлення. Менше значення напруги дозволяє виконувати стабілізатори послідовного типу на більш високі вихідні напруги, ніж паралельного типу.

Стабілізатори напруги постійного струму послідовного типу рекомендується приміняти з джерелами первинної напруги живлення, що

має малий вихідний опір. При використанні стабілізаторів паралельного типу треба значно збільшувати опір балансного резистора, що призводить до зниження к.к.д. схеми.

К.к.д. стабілізатора напруги паралельного типу залежить від струму навантаження. У стабілізатора послідовного типу ця залежність виражена слабше. Якщо послідовний і паралельний стабілізатори напруги мають однакову вихідну потужність, то стабілізатор послідовного типу має більш високий к.к.д. в режимі неповної навантаження, а стабілізатор паралельного типу більш економічний в режимі максимального навантаження. Таким чином, перший з них є переважаючий при роботі на навантаження, що сильно змінюється, а другий - на постійне навантаження.

Стабілізатори напруги паралельного типу не потребують прийняття спеціальних мір захисту від короткого замикання на виході. Це пояснюється тим, що в режимі короткого замикання напруга на регулюючому транзисторі, а отже, і потужність розсіювання рівні нулю. В цьому режимі роботи вся потужність, яку споживає стабілізатор від живлення, буде розсіюватися на балансному резисторі, параметри якого мають бути вибрані відповідним чином. У стабілізаторів напруги послідовного типу при короткому замиканні на виході різко зростає напруга на регулюючому транзисторі (стає рівною напрузі живлення), і вся потужність, яку споживає стабілізатор, розсіюється на ньому. Для того, щоб в режимі короткого замикання стабілізатор зберігав свою працездатність, в схему вводять струмообмежуючі захисні елементи.

Режим холостого ходу на виході є небезпечним для стабілізаторів напруги паралельного типу, оскільки в цьому випадку на регулюючому транзисторі розсіюється дуже велика потужність. В стабілізаторах напруги послідовного типу робота в режимі холостого ходу також не рекомендується, що пояснюється нестійкою роботою потужних

транзисторів в режимі малих струмів. В цьому випадку паралельно виходу стабілізатора підключають додаткові резистори навантаження.

Порівнюючи приведені вище характеристики стабілізаторів напруг послідовного і паралельного типів, можна зробити висновок, що обидва типа мають позитивні і негативні сторони. Тому вибір схеми того чи іншого типу стабілізатора залежить від конкретних вимог до них, заданих режимів роботи, характеристик джерела первинного живлення.

Робота. При включенні живлення відбувається скид тригерів. На входах Q тригерів DD10.1, DD10.2, DD12, DD3.1, DD3.2 встановлюються логічні "0", а на виходах \bar{Q} логічні "1". Логічна "1" з виходу \bar{Q} тригера DD10 та логічний "0" з виходу Q тригера DD12 подаються на виходи 12, 13 елемента DD9.4. На виході 11 цього елемента встановиться логічний "0". Так, як на входах ключів VT7, VT8 — VT11 присутні логічні нулі то ці ключі будуть розміщені, внаслідок чого реле K2 і K3 знеструмлені. Так як контакти реле K3 нормально розімкнуті то коло живлення електричного двигуна розімкнуте - двигун знеструмлений.

При натисканні кнопки "Пуск" напруга +9В подається на диференціюючі кола виконані на C8,R21 та C11,R26. З них знімається короткий імпульс який подається на вхід 6 тригера DD10.1 (A3). При цьому на виходах Q тригерів D10.1 з'являється логічна одиниця. Логічна "1" на виході Q елемента D12 відкриває ключ VT8 і VT12. Ключ VT12 вмикає лампочку HL2. Відкритий ключ VT2 шунтує базове коло ключа VT9 і не дає останньому відкритися.

Одночасно логічна "1" з виходу Q тригера DD9 подається на вхід S тригера DD12, що викликає появу логічної одиниці на виході Q тригера DD10.2. Логічна одиниця з виходу Q тригера DD10.2 відкриває ключ VT11 і реле K3 стає під струм, що забезпечує перемикання напряму обертання електродвигуна для подачі радіоактивного елемента до місця експозиції.

Логічна "1" з виходу Q тригера D12 відкриває ключ VT11, який вмикає зелений світло діод підвищеної яскравості світіння. Світіння світло діода сигналізує про те, що відраховується час протягом якого оператор може відійти у безпечне місце.

По закінченню часу "витримки" на виході Q тригера D12 з'являється логічний нуль. Закривається ключ VT12 - гасне зелений світло діод. Закривається ключ VT8 і відкривається ключ VT9, що спричиняє спрацювання реле K2. Контакти реле K2 замикаються і подають напругу живлення електродвигуна. Двигун починає обертатися і подає радіоактивний елемент до місця експозиції.

Так, як на елементі DDI2 виводи 12,13 встановлюють логічні нулі, то відкривається ключ VT10, який вмикає червоний світло діод HL1, підвищеної яскравості світіння.

Після того, як радіоактивний елемент дійшов до місця експозиції спрацьовує силова муфта. Замикається кінцевий вимикач світлової муфти і подає логічну "1" через замкнуті контакти K3 для запуску таймера експозиції.

На виході тригера DD3 таймера експозиції (вихід Q) встановлюється логічна одиниця, яка відкриває ключ VT7, внаслідок чого закривається ключ VT9, знеструмлюється реле K2, двигун припиняє обертання (відбувається опромінення рентгенівської плівки).

Так, як контакти реле K2 (3,4) замикаються, то логічна "1" з DD3 вихід Q подається на вхід С тригера DD3.2. Присутній логічний "0" на виході S тригера DD9.1 записується на вихід Q тригера DD9.1, в момент приходу логічної одиниці на тактовий вхід С тригера DD9.1. Внаслідок чого ключ VT11 закривається, знеструмлюється реле K3 - відбувається зміна напрямку обертання двигуна.

Після закінчення часу експозиції на виході Q тригера DD3 таймера експозиції, встановлюється логічний "0". Закриється ключ VT7, відкривається ключ VT9 і реле K2 стане під струм. Замкнуться контакти реле K2 і електродвигун почне обертатися в зворотному напрямку. При цьому відбувається подача радіоактивного елемента від місця експозиції в контейнер приладу. Коли радіоактивне джерело з'явиться в контейнері спрацює силова муфта, кінцевий вимикач якої замкнеться. При цьому логічна "1" з виходу Q' тригера DD3 через замкнуті контакти K3 подається на вхід C DD1 0.1, що спричиняє появу логічного "0" на виході Q тригера D1, та логічної "1" на виході Q тригера D1. Логічний "0" на виході Q тригера DD10.1 закриває ключ VT9, що знеструмлює реле K2 і припиняється обертання електричного двигуна. Одночасно логічна "1" на вході 12 елемента DD9.4 закриває ключ VT10, що викликає вимкнення червоного світло діода - сигналізатора небезпеки.

2.3 Розробка складального креслення тримача для фіксації колімаційної головки.

На листі МР.МТТм-15.02.02.000СК розроблено складальне креслення тримача для фіксації колімаційної головки проектованої установки для рентгеноскопічного контролю. Розроблюваний тримач кріпиться на трубі біля місця проведення контролю. Пристрій складається з наступних складових: хомут верхній (позиція 1), хомут нижній (позиція 2), які скріплені через осі (позиція 6) і ексцентрика (позиція 4), за допомогою ручки (позиція 3). До верхнього хомути приварено затискач в який встановлюється стійка (позиція 8) на якій є лінійка з ціною поділки 2 мм., яка фіксується болтом (позиція 7). На певній висоті на стійці встановлюється затискач (позиція 9) в який входить перехідник (позиція 13), який фіксується затискною гайкою (позиція 5) і гвинтом (позиція 12).

Конструкція верхнього затискача через кронштейн (позиція 11) і шайбу (позиція 10), що проградуїрована на 360° , дозволить повертати коліматор на потрібний для просвічування кут. На кронштейн також нанесена мітка, призначена для вибору кута просвічування зі шкали на шайбі. Для забезпечення щільності прилягання хомутів до труби, під них встановлюють пластмасову гуму (позиція 19) на клей.

Технічна характеристика.

- 1) Кут повороту коліматора в горизонтальній площині 360° .
- 2) Кут повороту коліматора у вертикальній площині 360° .
- 3) Максимальна віддаль коліматора від труби 600 мм.
- 4) Час монтажу пристрою на трубі 20 секунд.
- 5) Пристрій може комплектуватись хомутами (позиції 1 і 2) для труб діаметром до 200 мм.
- 6) Допустиме відхилення діаметра труби ± 2 мм.

2.4 Розробка структурної схеми установки для радіаційного контролю стикувальних вузлів газокompресорних станцій

Вмикається живлення і всі тригери встановлюються в положення "0". При натисканні на кнопку "Пуск" подається постійна напруга на диференціюючі ланки 1 і 2, які виробляють короткочасні імпульси, що переводять в стан "1" тригери 5, 3 і 8. Тригер 3 — сигналом "1" з виходу "0" відкриває ключ 6, а сигнал "0" з інверсного виходу подає на логічний елемент 7 "два і". З моменту натискування кнопки "Пуск", запускається також очікуючий мультівібратор 4, який виробляє час необхідний для того, щоб оператор відійшов у безпечне місце. Після закінчення часу витримки мультівібратором 4 він видасть сигнал, яким переведе тригер 5 в положення "1".

Тригер 8 одиницею відкриває ключ 19, який вмикає жовтий індикатор 18. Також одиницею він переводить тригер 11 в положення "1", що приводить до перемикання комутатора 14 в подачу прямої напруги на двигун 17. Також тригер 8 відкриває ключ 10. Ключ 11 з моменту включення приладу повинен бути відкритим. Ключі 6 і 10 відкриті під дією тригерів 3 і 8. Отже, всі три послідовні ключі пропустять струм від джерела живлення на комутатор в наслідок чого двигун почне обертатися і спричинить подачу радіоізотопного джерела по гнучкому шлангу до місця просвічування.

Двигун працює до тих пір, поки джерело не надійде в коліматор і не натисне на кінцевий вимикач 21, який ввімкне напругу U_{21} . Після чого диференціюючі ланка 19 виробить короткий сигнал U_{19} , яким запуститься таймер 12, а також переведе тригер 15 в положення "0". В наслідок цього таймер закриє ключ 11 і перерве подачу живлення на двигун 17, а тригер 5 подасть "0" на другий вхід логічного елемента 7 "два і", на перший вхід якого був поданий сигнал "0" із тригера 1. Логічний елемент 7 виробить "1" для ввімкнення червоного сигналізатора 9. Таймер 12 закінчивши витримку, виробить сигнал для переведення тригера 16 в положення "0" і цим самим переведе комутатор на реверс двигуна. Одночасно таймер 12 знову відкриє ключ 6 для подачі живлення на двигун 17. Двигун потягне за гнучкий трос радіоактивне джерело назад в радіаційну головку і коли джерело опиниться в відсіку зберігання, то натисне на кінцевий вимикач 20. В наслідок цього спрацює диференціюючі ланка 15, яка виробить короткий імпульс, що приведе до переведення тригера 3 в положення "0" і ввімкнення ключа 6, в наслідок чого зупиниться двигун, а на інверсному виході "0" тригера 3 з'явиться логічна одиниця, яка переведе логічний елемент 7 в положення "0" і виключить червоний індикатор 9. Після цього вимкнута живлення на пульті управління. Новий цикл розпочнеться з

ввімкненням живлення. Роботу установки видно на структурній схемі МР.МТТм -15.01.01.000СІ і часовій діаграмі МР.МТТм -15.01.01.001.

2.5 Методика проведення неруйнівного контролю стиковальних вузлів газокompресорних станцій радіографічним методом

2.5.1 Підготовка до проведення контролю

При підготовці до виконання контролю радіографічним методом проводять наступні роботи:

- ліквідовують виявлені при зовнішньому огляді зварного шва зовнішні дефекти, а також зачищають його від нерівностей, шлаку, окалини, краплин металу та інших забруднень, зображення яких на знімку може перешкодити його розшифровці;

- проводять розмітку зварного з'єднання на ділянки і маркують ці ділянки. Система розмітки і маркування ділянок встановлюється технічною документацією на контроль зварного шва;

- на кожен ділянку, що контролюється, встановлюють еталони чутливості і маркувальні знаки;

- маркувальні знаки встановлюють на межі розмічених ділянок, а також на межах направленого і основного металу при контролі зварних швів без підсилення або з знятим підсиленням;

- маркувальні знаки, що використовують для нумерації ділянок контролю, встановлюють безпосередньо на касети з плівкою так, щоб зображення маркувальних знаків на знімках не накладалось на зображення шва і зони, що знаходяться біля шва;

- проводять вибір схем контролю;

- схему і напрям випромінювання передбачається технічною документацією на контроль зварних швів;

- енергію рентгенівського випромінювання, тип радіоактивного джерела, тип радіографічної плівки, схему зарядки касет, товщину захисних свинцевих екранів (від розсіяного випромінювання) і схему просвічування вибирають в залежності від геометричних розмірів об'єкту контролю таким чином, щоб чутливість контролю не перевищувала половини розміру по глибині мінімального і недопустимих дефектів.

При виборі схеми і напрямку випромінювання враховують:

- відстань від зварного шва, що контролюється до радіографічної плівки повинна бути мінімальною але не менше 150мм.;

- кут між напрямком випромінювання і нормаллю до радіографічної плівки в межах зони контролю за одну експозицію ділянки зварного шва повинен бути мінімальний і в будь-якому випадку не перевищувати 45°С;

- довжина вибраних знімків повинна забезпечувати перекриття зображень суміжних ділянок зварних з'єднань при довжині ділянки контролю до 100 мм.- не менше 0.2 довжини ділянки, а більше 100 мм.-не менше 20 мм.;

- ширина знімка повинна забезпечувати отримання зображення зварного шва, еталонів чутливості, маркувальних знаків і навколо шовної зони.

2.5.2 Методика проведення просвічування

Встановити тримач колімаційної головки на трубу і поворотом зафіксуємо його. Відпустити затискну гайку. Пересуваємо затискач по осі на висоту розраховану згідно схеми просвічування для даного типу труби. Повернути кронштейн в затискач з колімаційною головкою так, щоб колімаційний отвір був націлений на зварений шов труби, після чого затискною гайкою фіксувати затискач і поворотний кронштейн колімаційної головки.

Встановити на трубу з протилежного боку від розміщення коліматора гнучку касету заряджену плівкою із встановленими маркувальними знаками і зафіксуємо касету за допомогою гнучких ременів. На ділянку контрольованого шва встановлюємо вибрані дротикові еталони чутливості.

Розмістити неподалік місця просвічування γ -дефектоскоп, який має бути заряджений радіоізотопним джерелом, і під'єднати його гнучкий шланг ампулопровід до колімаційної головки. Пульт керування віднести від радіаційної головки γ -дефектоскопа на розраховану безпечну відстань. Прослідкувати щоб в небезпечній зоні не було людей. Після цього виключити живлення дефектоскопа, набрати за допомогою перемикачів на передній панелі пульта розрахований час експозиції. Натиснути кнопку "Пуск", на пульті засвітиться жовта лампочка, що попереджає про подачу радіоактивного джерела в зону просвічування. З цього моменту не можна заходити в зону проведення контролю де буде небезпечна потужність дози випромінювання. З моменту подачі джерела в коліматор загориться червона лампочка, що свідчить про проведення просвічування. Після згасання червоної лампочки загориться жовта — що свідчить про повертання радіоізотопного джерела у радіаційну головку. Після згасання жовтої лампочки можна входити в зону просвічування, зняти касету з плівкою для фото обробки і проводити наступні технологічні операції. Методика проведення просвічування зображена на листі МР.МТТм-15.01.00.001.

2.5.3 Методика визначення розмірів дефектів

Безпосереднє виконання вимірів розмірів дефектів проводять по радіографічному знімку, прийнятому до розшифрування. Огляд і розшифрування знімків потрібно проводити після їх повного висихання в

затемненому приміщенні із застосуванням спеціальних освітлювачів — негатоскопів. Негатоскопи, в основному, використовують з регулюванням яскравості і розмірів освітленого поля. Максимальна яскравість освітленого поля повинна становити не менше 10^{D+2} кд/м², де D - оптична густина знімка. Розміри освітлюваного поля повинні регулюватися за допомогою штор, що рухаються або екранів —масок в таких межах, щоб освітлення поля повністю перекривали знімок.

При розшифруванні знімків визначаються розміри зображень пор, шлаків, тріщин, непроварів і включень, а також, при необхідності визначають величину опуклості і вгнутості кореня шва.

Допустимі розміри дефектів регламентуються нормативно-технічною документацією на контроль.

2.5.4 Обробка результатів

При обробці результатів необхідно дотримуватися слідуючих вимог: - розшифрування і оцінка якості зварних швів по знімках, на яких відсутні зображення еталонів чутливості і імітаторів, не допускається, якщо це спеціально не обумовлено в НТД;

- розміри дефектів при розшифровці знімків потрібно округляти до ближчих значень із ряду чисел: 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.5; 2.0; 2.5; 2.7; 3.0;

- при просвічуванні на "еліпс" розміри дефектів ділянки зварного шва, розміщеного зі сторони джерела випромінювання, перед округленням повинні множитись на коефіцієнт:

$$a = \frac{f + S}{f + S + D} \quad (2.98)$$

де f - відстань від джерела випромінювання до поверхні контрольованої ділянки зварного шва, мм. S - товщина контрольованої ділянки зварного шва, мм. D - діаметр труби, мм.

- кожний дефект повинен бути відмічений окремо і мати детальний опис відповідно до критеріїв оцінки якості;

- висновок по результатам контролю необхідно давати окремо по кожному відрізьку знімка довжиною 300 мм (для рулонних знімків) і по кожному знімку окремо. Після аналізу всіх відрізків або знімків складається висновок про якість зварного шва в цілому.

2.5.5 Оформлення результатів вимірювання

Результати розшифровки знімків і чутливості контролю повинні бути оформлені у вигляді висновків відповідної форми, згідно вимог ВСН 012-88. До висновку додається схема контролю. Висновок про можливість подальшої експлуатації зварного шва приймає тільки спеціаліст 2 і 3 рівня кваліфікації. Результати контролю також реєструються в "Журналі реєстрації результатів радіографічного контролю".

Для позначення дефектів в висновках і журналі реєстрації результатів контролю необхідно використовувати умовні позначення, приведені в додатку 5 або ВСН 012-88.

З МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТИКУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ГАЗОКОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

3.1 Різновидності похибок

Якість засобів і результатів вимірювань прийнято характеризувати їх похибками. Так, як характер проявлення і причини виникнення похибок як засобів, так і результатів вимірювань досить різноманітний, то на практиці встановлений поділ похибок на різновидності, за кожною із яких є визначена певна назва. Цих назв є біля 30 і спеціалісти з метрології і вимірювальної техніки повинні володіти інформацією відносно них.

Похибка засобу вимірювань і похибка результату вимірювання. Похибка результату вимірювання - це число, яке вміщує можливі границі невизначеності отриманого значення вимірювальної величини. Похибка засобу вимірювань - це певна його властивість, для визначення якої необхідно використовувати певні правила. Тому використавши вольтметр класу точності 1,0; тобто який має приведену похибку 1%, ми отримаємо результат вимірювання з похибкою 1% - це помилка. Похибка засобів вимірювань і похибка результатів вимірювань — це поняття не ідентичні.

Частина назв різновидностей похибок пов'язана з похибками засобів вимірювань, інша частина - з похибками результатів вимірювань, а деякі різновидності похибок використовуються, як по відношенню до засобів, так і до результатів вимірювань. Тому розглядаючи терміни похибок, будемо звертати увагу на сфери їх застосування і відмічати ті випадки, коли один і той же термін в різних сферах має неоднакові значення.

Інструментальні і « методичні ж похибки. Інструментальними похибками засобів вимірювань називаються такі, які належать конкретному засобу вимірювань, можуть бути визначеними при його випробуваннях і бути занесеними в паспорт на цей засіб вимірювань.

Крім інструментальних похибок при вимірюваннях ще є і такі похибки, які не можуть бути віднесені до інструментальних даного засобу вимірювань, а є пов'язані з методикою проведення вимірювань. Такі похибки називаються методичними. Дуже часто причиною виникнення методичної похибки є те, що, організовуючи вимірювання, часто вимірюють або вимушені вимірювати не ту величину, яка в принципі повинна бути виміряна, а деяку іншу, близьку, але не рівну першій величині. Така заміна того, що дійсно підлягає вимірюванню, тим, що дещо відрізняється від необхідного, але простіше реалізується, дуже широко використовується і при розробці засобів, і в практиці організації вимірювань. Це дозволяє створити найбільш прості, надійні універсальні і прилади і методи вимірювання. Але коли вже цей метод реалізований в приладі, то похибки такого приладу повинні бути визначеними і занесеними в паспорт на цей прилад. З цього моменту, незалежно від причин виникнення похибки для користувача такого засобу вимірювань всі ці похибки є інструментальними.

Прикладом такої методичної похибки може бути похибка, яка виникає при вимірюванні напруги вольтметром. Внаслідок шунтування вхідним опором вольтметра тої ділянки схеми, на якій вимірюється напруга, вона виявиться меншою, ніж до під'єднання вольтметра. Тому для одного і того ж вольтметра, під'єданого по чергово до різних ділянок досліджуваної схеми, ця похибка буде різною: на низькоомних ділянках - досить малою, а на високоомних - може бути досить великою.

Розмір цієї змінної похибки не може бути вказаним в паспорті на прилад і вона є методичною. Для розрахунку цієї похибки користувач повинен при кожному конкретному вимірюванні напруги вимірювати і опір досліджуваної ділянки, тобто проводити додаткове дослідження об'єкта вимірювання.

Такі дослідження обов'язково необхідні, коли взагалі важко вказати спосіб вимірювання, який би включав методичну похибку. Нехай, наприклад, вимірюванню підлягає температура нагрітих до високої температури брусків металу, які поступають на прокатний стан із печі. Де розмістити давач температури (наприклад, термометр): під бруском, збоку чи зверху? Однак, де би ми не розмістили давач, ми не виміряємо внутрішню температуру тіла бруска, тобто завжди буде мати місце методична похибка, тому що ми вимірюємо не те, що потрібно, а те, що легше виміряти. Такі похибки не можуть бути вказаними в паспорті на прилад і, відповідно, є не інструментальними, а методичними.

Відносно терміну "методична похибка" необхідно відмітити, що останнім часом, особливо в теорії цифрових приладів, його почали використовувати цілком в іншому розумінні, а саме для позначення похибки квантування, яка викликана закладеним в прилад принципом роботи і не залежить ні від розробника, ні від виробника приладу. Похибка квантування цифрового представлення інформації немов би є обов'язковою. Тому розробник із задоволенням називає таку похибку методичною і тим самим підкреслює, що її розмір не залежить від його зусиль. Але це принципово не є вірним і в паспорті на цифрові прилади ця похибка повинна бути віднесеною до інструментальної.

Таким чином, відмінною особливістю методичних похибок є те, що вони можуть бути визначені шляхом створення математичної моделі або імітаційним моделюванням досліджуваного об'єкта і не можуть бути

знайденими навіть найбільш глибокими дослідженнями лише самого засобу вимірювань.

Дійсно, визначити температуру в центрі бруска металу по вимірній температурі його поверхні можна лише маючи математичну модель теплового поля нагрітого бруска. Щоб знати напругу на певній ділянці схеми, яка там має місце до підключення вольтметра, необхідно мати не тільки покази вольтметра, але і знати його вхідний опір.

Так як методичні похибки не можуть бути вказані в паспорті на засіб вимірювань, а повинні оцінюватись експериментатором, то він повинен при виконанні вимірювань чітко відрізнити фактично виміряну ним величину від величини, яка підлягає вимірюванню. Така оцінка є досить складною. Вона вимагає додаткового експериментального дослідження прийнятого метода вимірювань. Якщо це вже встановлений і незмінний на протязі довгого часу метод вимірювання конкретних об'єктів вимірювання, то в результаті вказаного вище дослідження його похибки можуть бути наперед визначеними і занесеними в паспорт на метод вимірювання. Розробка отаких експериментальних паспортів похибок стандартних методів вимірювань -це одна із важливих задач сучасної галузевої метрології.

Основна і додаткова похибки засобу вимірювань. Будь-який первинний перетворювач, вимірювальний прилад працюють в умовах, які можуть змінюватися в часі. Це перш за все обумовлене тим, що процес вимірювання характеризується впливом на засіб вимірювань (як з боку об'єкта вимірювань, так і зовнішнього середовища, джерела живлення тощо) окремих факторів. Кожний із факторів може бути вимірний окремо, але в реальних умовах фактори впливають на засіб вимірювання разом з іншими факторами. Одним із таких факторів є вимірювана величина. Тому від засобу вимірювань вимагають, щоб він виділив із множини діючих на

нього факторів саме вимірювану величину, а всі інші фактори зумів усунути таким чином, щоб вони не впливали на його вихідну величину.

Природно, що засіб вимірювань разом із чутливістю до вимірюваної величини має і деяку чутливість і до інших невимірюваних величин, а саме: напруги живлення засобу вимірювань і об'єкту вимірювання, температури зовнішнього середовища, вібрації. я. При атестації чи градуюванні засобу вимірювань в лабораторних умовах значення всіх впливаючих можуть підтримуватися $20\pm 5^\circ\text{C}$, напруга живлення $\sim 220\pm 5\text{В}$). Такі обумовлені в технічній документації умови вивірення чи градуювання прийнято називати нормальними, а похибка засобу вимірювань, яка виникає при таких умовах, називається основною похибкою.

В експериментальних умовах, наприклад, при встановленні засобу вимірювань на літак, йому необхідно працювати при температурі від -60 до $+60^\circ\text{C}$, тиску від 1000 Па до 100 Гпа , напрузі живлення від ~ 187 до $\sim 242\text{ В}$, що приводить до появи похибок які є більшими, ніж в нормальних (лабораторних) умовах чи умовах вивірення.

Похибки, які виникають у засобі вимірювань в результаті зміни його показів в наслідок відхилення умов експлуатації від нормальних умов, називаються додатковими похибками і нормують так званими коефіцієнтами впливу зміни окремих сторонніх факторів на покази асобу вимірювань у вигляді $\psi_Q, \%/ (10\text{К})$; $\psi_U, \%/ (\Delta U/U)$ тощо. Хоча фактично функції впливу температури (Q і напруги U , як правило, є нелінійними, для простоти розрахунків їх вважають приблизно лінійними і виникаючі додаткові похибки від їх впливу на засіб вимірювання визначають таким чином:

$$\gamma_{\text{доп}} = \psi_Q \cdot \Delta Q \quad (3.1)$$

де ψ_Q - коефіцієнт впливу температури, ΔQ -відхилення температури від нормальних умов.

Похибка засобу вимірювань в реальних умовах його експлуатації називається експлуатаційною і складається із його основної похибки і всіх додаткових похибок і може бути значно більшою від його основної похибки.

Поділ похибок засобу вимірювань на основну і додаткові є чисто умовним і обумовлюється з технічної документації на кожний вид засобів вимірювань.

Статичні і динамічні похибки, які властиві, як засобам вимірювань, так і результатам вимірювань, розрізняють по їх залежності від швидкості зміни вимірювальної величини в часі. Похибки, які не залежать від вказаної швидкості називаються статичними. Похибки, які є відсутніми, коли вказана швидкість практично дорівнює нулю, і збільшуються при збільшенні швидкості зміни вимірювальної величини, називаються динамічними похибками. Таким чином динамічні похибки є однією із різновидностей додаткових похибок, які викликаються швидкістю зміни в часі вимірюваної величини.

Систематичні, прогресуючі і випадкові похибки. Систематичними називають похибки, які змінюються з часом і є певними функціями визначених параметрів. Основна відмінна ознака систематичних похибок полягає в тому, що вони можуть бути передбаченими і завдяки цьому майже повністю виключеним шляхом введення відповідних поправок.

Значна небезпека постійних систематичних похибок полягає в тому, що їх наявність досить важко виявити. На відміну від випадкових, прогресуючих похибок, чи похибок які є певними функціями визначених параметрів, постійні систематичні похибки зовнішньо себе ніяк не проявляють і можуть довгий час залишатися невиявленими. Одним із

способів їх виявлення є проведення вивіряння засобу вимірювань шляхом повної атестації взірцевих мір або сигналів.

Прикладом систематичних похибок, які є певними і постійними в часі функціями визначених параметрів, є похибки від зміни таких величин як: температури навколишнього середовища, частоти і напруги живлення. Ці похибки задані постійними функціями в часі, можуть бути передбаченими і зкорегованими шляхом введення у засіб вимірювань додаткових коректуючих перетворювачів, які сприймають ці параметри і вводять відповідні поправки в результат вимірювання.

Прогресуючими (або дрейфуючими) називаються такі непередбачені похибки, які повільно змінюються в часі. Ці похибки виникають у процесі старіння різних деталей засобів вимірювань (резисторів, конденсаторів, механічних деталей тощо). Особливістю прогресуючих похибок є те, що вони можуть бути скорегованими шляхом ведення поправки лише в даний момент часу, а пізніше вони знову непередбачено змінюються. Тому за допомогою поправок, визначених один раз за весь термін служби засобу вимірювань, прогресуючі похибки вимагають повторних корекцій, причому тим частіших, чим більшим є термін фактичної експлуатації засобу вимірювань. Інша особливість прогресуючих похибок полягає в тому, що їх зміна в часі - це нестандартний випадковий процес, теорія якого, на відміну від стаціонарного випадкового процесу, є більш складною. Тому вони можуть бути описаними лише приблизно.

Випадковими називаються похибки, які не є передбаченими ні по знаку, ні по розміру (або недостатньо вивченими). Вони визначаються сукупністю причин, що важко піддаються аналізу. Випадкові похибки, на відміну від систематичних, легко виявляються при повторних вимірюваннях у вигляді деякого розкиду отриманих результатів. Таким

чином, головною відмінною рисою випадкових похибок є їх непередбаченість від одного відліку до іншого. Тому опис випадкових похибок може бути здійснений тільки на основі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Однак необхідно відмітити такі дві особливості. По-перше, використання методів математичної статистики з метою обробки результатів вимірювань правомірно лише при умові незалежності між собою окремих отриманих відліків. По-друге, більшість формул теорії ймовірності правомірні тільки для безперервних розподілів, в той час як розподіл похибок внаслідок необхідності квантування відліків завжди є дискретним. Таким чином, умови безперервності і незалежності для випадкових похибок виконуються лише приблизно, а деколи можуть і не виконуватися. В математиці під терміном "безперервна випадкова величина" розуміють більш вузьке, обмежене рядом умов поняття, ніж під терміном "випадкова похибка" у вимірювальній техніці.

Тим не менше, так як більшість похибок засобів вимірювань і результатів вимірювань є випадковими похибками, то одним із найбільш можливих розроблених способів їх опису є використання положень теорії ймовірності і її подальшого розвитку стосовно процесів передачі інформації у вигляді теорії інформації, а для обробки отриманих експериментальних даних, які містять випадкові похибки-методів математичної статистики. Тому ця група фундаментальних розділів математики є основою для розвитку сучасної теорії оцінок похибок засобів вимірювань, процесів і результатів вимірювань.

З урахуванням вказаних обмежень процес виявлення випадкових похибок засобів вимірювань і результатів вимірювань після виключення систематичних і прогресуючих похибок може розглядатися як центровий

стаціонарний випадковий процес з використанням для його опису добре розробленої в математиці теорії.

Ділення похибок засобів і результатів вимірювань на випадкові, прогресуючі і систематичні складові є спрощеним прийомом для їх аналізу. В реальній дійсності ці складові похибки завжди проявляються разом і утворюють єдиний нестаціонарний випадковий процес [5].

3.2 Складові похибки схеми нагромадження

Похибки для схеми нагромадження ми можемо поділити на дві групи:

1) похибки неоднаковості умов отримання зображення на плівках, еталону і досліджуваного шва;

2) похибки недотримання умов проведення неруйнівного контролю.

До першої групи похибок відносяться:

- неоднаковий час експозиції;
- неоднакова плівка;
- неоднакові напруга і струм;
- проведення НК не одним і тим же апаратом;
- не однаковість матеріалу зразка і досліджуваного об'єкту;
- різні способи проявлення плівки;
- різні умови проявлення плівки.

До похибок недотримання умов проведення неруйнівного контролю відносяться:

- недотримання відстані від об'єкта контролю до джерела, відносно заданої;
- недотримання часу експозиції;
- вплив температури і вологості навколишнього середовища;

- неоднаковість зачистки поверхні;
- старіння джерела (період розпаду) випромінювання. Схема показана на листі МР.МТТм -15.01.00,002.

3.3 Розрахунок відносної чутливості.

При промисловій радіографії основний показник якості виконаного знимку - це відносна чутливість, що визначається по зображенню еталонів чутливості. На практиці радіографії і радіоскопії приміняють декілька типів стандартизованих еталонів чутливості: дротяний, рівчаковий, пластинковий з отворами, ступінчатий з отворами. Залежність відносної чутливості від основних параметрів просвічування визначається рівнянням:

$$W_{\hat{a}i\ddot{u}} = \frac{\Delta\delta}{\delta} 100\% = 2,3\Delta D_{i\ddot{u}} \frac{\hat{A}}{\gamma_D} \mu\delta \cdot 100\% \quad (3.2)$$

де $\Delta D_{\text{мін}}$ - мінімальна різниця густин почорніння, що розрізняється оком (приладом); B - дозовий фактор накопичення випромінювання; γ_D - контрастність радіографічної плівки; μ - лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання; δ - товщина виробу.

Приведене рівняння справедливе при відсутності розмиття країв зображення дефекта. В реальних промислових умовах радіографії зображення дефекта завжди буває розмитим і характеризується загальною нерізкістю зображення U . Вплив нерізкості призводить до того, що чутливість рівчакового еталона погіршується; для рівчакового еталона

$$W_{\hat{a}i\ddot{u}} = 2,3\Delta D_{i\ddot{u}} \frac{\hat{A}}{\gamma_D} \mu\delta \cdot \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right) 100\% \quad (3.3)$$

для дротяного еталона

$$W_{\hat{a}i\ddot{u}} = 2,92\Delta D_{i\ddot{u}} \frac{\hat{A}}{\gamma_D} \mu\delta \cdot \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right) 100\% \quad (3.4)$$

де Δb - ширина дефекта, а d - діаметр дротів(протяжностей?) еталонів чутливості, мм.

Приведені співвідношення дозволяють визначати в достатньому наближенні глибину мінімальної виявляємої канавки: еталона, що імітує дефекти ступінчатої або прямокутної форми типу непроварів, розслоєння і макротріщин, або діаметр протяжності еталона, що імітує дефекти кулеподібної або овальної форми типу пор, включення і ін.

Мінімально виявляєма різниця густини почорніння ΔD_{\min} зображенням дефекта і основним фоном знімка визначається деякими факторами, до яких відносяться степінь досконалості ока оператора, яскравість екрана розшифровочного обладнання і умови розшифровки, а також розміри і форми зображення дефекта. Око являється найбільш чутливим при яскравості більше 30 кд/м^2 , в цих умовах можливо розрізнити різницю яскравості біля 0.14, що забезпечує знаходження мінімальної різниці густин почорніння $\Delta D_{\min} = 0.006$. В загальному вигляді значення ΔD_{\min} при яскравості екрана розшифровочного обладнання 30 кд/м^2 знаходиться в межах від 0.006 до 0.02 (відстань від ока до екрана становить 25 см), причому менші значення відповідають більшим дефектам і малим відношенням довжини дефекта до його ширини (до 20), а більші значення - малим дефектам і великим відношенням довжини дефекта до його ширини (до 70).

У промисловості для контролю вузлів трубопроводу частіше за все використовують дротинкові еталони чутливості, тому для нашого розрахунку ми скористаємося формулою (3.4).

При яскравості рентгенівського обладнання 30 кд/м^2 $\Delta D_{\min} = 0.006 \div 0.02$. Для нашого випадку вибираємо $\Delta D_{\min} = 0.01$.

Для того щоб визначити дозовий фактор накопичення випромінювання В, |Вибираємо джерело тулій 170 (Ту-0), з діаметром активної частини $d_a = 2 \text{ мм}$ та потужністю експозиційної дози $P = 9.3 \cdot 10^{-6} \text{ Р/с}$. Отже, для заліза $B = 6$.

Для радіографічного контролю вузлів газокompресорних станцій краще вибрати дрібнозернисту радіографічну плівку РТ-5. Контрастність радіографічної плівки $\gamma_D = 4.5$, а лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання $\mu = 2.6$ 1/см.

При просвічуванні зварного шва труби, просвічуються дві його стінки товщиною по 10 мм кожна. Отже, товщина просвічуваного виробу $\delta = 20$ мм. Для наших параметрів підходить дротинковий еталон №2, з діаметром дротини $d = 0.1$ мм.

Нерізкість зображення U , обраховується за наступною формулою:

$$U = \sqrt[3]{U_{\text{дi}}^3 + U_{\text{вн}}^3} \quad (3.5)$$

де $U_{\text{дi}}$ - це геометрична нерізкість, а $U_{\text{вн}}$ - це внутрішня нерізкість. Внутрішню нерізкість знаходимо з таблиці А, 1 [додаток А], $U_{\text{вн}} = 0.04$ мм. А $U_{\text{дi}} \leq U_{\text{вн}}$, звідце $U_{\text{дi}} = 0.06$. Знайдемо нерізкість зображення за формулою (3.5):

$$U = \sqrt[3]{0.04^3 + 0.06^3} \approx 0.065, \text{ и}$$

За формулою (3.4) обчислемо відносну нерізкість для дротинкового еталона, при радіоскопічному контролі вузлів газокompресорної станції:

$$W_{\text{вiдн}} = 2,92 \cdot 0,01 \cdot \frac{6}{4,5} \cdot 26 \text{ мм}^{-1} \cdot 20 \text{ мм} \left(1 + \frac{0,065 \text{ мм}}{0,1 \text{ мм}} \right) \cdot 100\% = 3,41\%$$

Отже, при проведенні радіоскопічного контролю вузлів ГКС, приладом з джерелом Tm-0 (^{170}Tm), відносна чутливість $W_{\text{вiдн}} = 3.41\%$.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розроблено установку для радіаційного контролю стикувальних вузлів газокompресорних станцій. Розроблено пристрій для закріплення колімаційної головки на трубі.

Основним завданням дипломного проекту є використання і вдосконалення розробленої установки для виробництва. В кінцевому результаті була отримана автоматизована система рентгенографічного контролю вузлів газокompресорних станцій.

Перед виконанням поставленої задачі, ми розглянули будову, принцип роботи, основні інформаційні сигнали та методи керування у - дефектоскопа, на основі якого розроблялась автоматизована установка для радіографічного неруйнівного контролю. Було опрацьовано теоретичні основи неруйнівного радіаційного контролю. Зроблено розрахунок схеми компенсаційного стабілізатора напруги з неперервним регулюванням. Розроблено електричну принципову схему автоматизованого пульта управління, його складальне креслення та структурну схему і часову діаграму його роботи. Розрахунок радіатора здійснено за допомогою програми виконаної мовою Pascal.

В метрологічній частині дипломного проекту розглянуто похибки, які виникають при рентгеноспектральному аналізі. Для цього зроблено схему накопичення похибок. Ще в цьому розділі було розраховано відносну чутливість контролю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. В.В. Розгонюк та ін. Довідник працівника газотранспортного підприємства. - К.: Росток , 2001. — с
2. Білокур І.П., Фірстов В.Г., Соснін Ф.Р. Радіаційний контроль - К.: НМКВО, 1992,— с
3. В.А. Короткий посібник з контролю зварних з'єднань. -Київ: ІЕЗ ім. О.О. Платона, 1997. – 224 с.
4. В.А. Контроль якості зварних з'єднань. – К.: ІЕС ім. О.О. Платона, 1993. – 127 с.
5. І.С. Кісіль Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. -Івано-Франківськ: Факел ,2002.
6. Болеста І. М. Фізика твердого тіла : навчальний посібник / І. М. Болеста. – Львів.: Видавн. Центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 480 с.
7. Р.М. Терещук и др. Довідник радіолюбителя. - К.: Наукова думка, 1981.
8. Боднар Р. Т. Контроль проникаючими випромінюваннями і речовинами. Конспект лекцій. МВ 02070855-3128-2010. Івано-Франківськ: Вид. ІФНТУНГ.– 2010.– 262 с.
9. Кісіль І. С. Конструювання вимірювальних приладів: Навч. посібник.– Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 328 с.
10. Троїцький В.А. Короткий посібник із контролю якості зварених з'єднань/ К.: ІЕЗім. Є.О.Платона, 1997 р.– 224 с.
11. Заболотний О.В., Марчук В.І., Караченцев В.Є. Проектування електронних пристроїв: навчальний посібник – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2018 – 360с. У навчальному посібнику розглядаються необхідні відомості

12. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
13. Техническое черчение. Годик И.Е. - К.: Вища школа , 1983.
14. Г.В.Микитин. Основи метрології: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.–Львів: СПОЛОМ, 2008.- 296 с.
15. Боднар Р. Т., Кісіль І. С., Лютак З.П., Середюк О.Є. Камінський В.Т. Фізичні основи неруйнівного контролю".Навчальний посібник. Івано-Франківськ: Вид. ІФНТУНГ.– 2013.– 384 с. ISBN 978-966-694-181-0
16. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник.–К.: «Азимут-Україна», 2004.– 496 с.
17. Боднар Р.Т. Контроль проникаючими випромінюваннями і речовинами. Лабораторний практикум. м. Івано-Франківськ, видавництво ІФНТУНГ, 2020.– 125 с.
- 18.ДСТУ EN 584-1-2001 Неруйнівний контроль. Промислова радіографічна плівка. Частина 1. Класифікація плівкових систем для промислової радіографії (EN 584-1:1994, IDT)
19. ДСТУ EN 462-1-2001 Неруйнівний контроль. Якість зображення радіографічних знімків. Частина 1. Індикатори якості зображення дротяного типу. Визначення показника якості зображення (EN 462-1:1994, IDT)
20. ДСТУ EN 462-2-2001 Неруйнівний контроль. Якість зображення радіографічних знімків. Частина 2. Індикатори якості зображення типу східець/отвір. Визначення показника якості зображення (EN 462-2:1994, IDT).

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. Залежність нерізкості перетворення від енергії фотонного випромінювання.

Енергія випромінювання.кеВ, або тип джерела	Нерізкість ІД мм	
	Дрібнозерниста плівка	Крупнозерниста плівка
50	0,03	0,05
100	0,05	0,1
200	0,09	0,12
300	0,12	0,15
400	0,15	0,2
1000	0,24	0,3
2000	0,32	0,45
8000	0,6	0,7
31000	1	1,2
Іридій-192	0,13	0,2
Цезій-137	0,28	0,3
Кобальт-60	0,35	0,5

Додаток Б

Програма для розрахунку площі радіатора

Program rozrax-radiator;

Var

Tp, P, RVn, Tpn, Sk

begin

writeln ('Tp,','=,');

read (Tp);

writeln C,P,V=,');

read (P);

writeln ('Rvn,V=,');

read (Rvn);

writeln ('Tpn,','=,');

read (Tpn);

writeln ('Sk,','=,');

read (Sr);

Rk:=0,00022/Sk;

DT:=(Tp - Tp) - P*(Rvn + Rk); DTs:=0/83*DT;

writeln ('h,','=,');

read (h);

writeln ('Ssh,7,=');

read (Ssh);

writeln ('L,y,=,');

read (L);

writeln ('De,','=,');

read (De);

writeln ('AV,=,');

read (A);

```
writeln ('Lp,V,=');
read (Lp);
writeln ('sig,', '= ');
read (sig); B:=A*Sp/(Lp*sig);
p:=sqrt(B*(1,5-(exp(sh(2*sqrt(B)/(2*sqrt(B))+1)*ln(-1)));
DTS0:=DTs*Sk/(Sp*sqr(sh(p*sqrt(Sk/S))*sqr(ch(p/2))/p-ch(p*sqrt(Sk/S))+1));
SPO:=p/(A*DTSO);
writeln ('SPO,7 =');
write (SPO);
end.
```